

**VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**FAKULTA STROJNÍ**

**KATEDRA ROBOTIKY**

# **BAKALÁŘSKA PRÁCE**

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

Čelistové efekторы pro manipulaci s materiálem

Jaw Effectors for Material Handling

Student:

Václav Kožušník

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Milan Mihola, Ph. D

Ostrava 2020

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra robotiky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Václav Kožušník**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2301R013 Robotika  
Téma: **Čelistové efekторы pro manipulaci s materiálem**  
**Jaw Effectors for Material Handling**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte analýzu současného stavu řešené problematiky.
2. Navrhněte efektor dle instrukcí vedoucího práce.
3. Navržený efektor detailně rozpracujte.
4. Práci doplňte podrobnou technickou a výpočtovou dokumentací. Výkresovou dokumentaci vypracujte dle pokynů vedoucího práce.
5. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a konstrukční řešení v CAD systému (dle pokynů vyučujícího).

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Burdakov, J. *Projektování a provoz RTP*. 1. vyd. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2004. 110 s. ISBN 80-248-0709-2.
2. Taláček, J. Matička, R. *Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů*. ČVUT, Praha, 1995. 236 s. ISBN 80-01-01291-3.
3. Burdakov, J. *Navrhování robotizovaných montážních linek*. 1. vyd. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2008. 163 s. ISBN 978-80-24-1869-6.
4. ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
5. ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milan Mihola, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



prof. Dr. Ing. Petr Novák  
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty



## **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 18. 5. 2020



.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 18. 5. 2020



.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Adresa trvalého pobytu autora práce:

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KOŽUŠNÍK, V. *Čelistové efekторы pro manipulaci s materiálem: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky, 2020, 77 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Milan Mihola, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá volbou vhodného efektoru z katalogu výrobce pro určenou manipulační úlohu s ozubeným kolem. V úvodu je provedena podrobná rešerše se zaměřením na rozdělení a popsání jednotlivých typů efektorů podle určitých specifických znaků. V konstrukční části je nejprve popsán objekt manipulace, následně znázorněny jednotlivé prvky manipulační linky a rozebrán průběh manipulační úlohy. Jsou určeny požadavky na výsledný efektor. Jsou navrženy varianty jednotlivých použitelných efektorů pro každou variantu navrhnutý prsty a vypracovány jejich výrobní výkresy. Pomocí závěrečné analýzy je zvolena nejvíce vyhovující varianta. V závěru je tato varianta opětovně představena.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

KOŽUŠNÍK, V. *Jaw Effectors for Material Handling: Bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2020, 77 s. Thesis head: doc. Ing. Milan Mihola, Ph.D.

The bachelor's thesis deals with the selection of a suitable effector from the manufacturer's catalog for a specified handling task with a gear wheel. In the introduction, a detailed search is performed focusing on the division and description of individual types of effectors, according to certain specific features. The Construction part first describes the object of manipulation, then shows the individual elements of the handling line and describes the course of the manipulation task. The requirements for the resulting effector are determined. Variants of individual, usable effectors are designed, fingers are designed for each variant and their production drawings are prepared. Using the final analysis, the most suitable variant is selected. In the end, this variant is re-introduced.

## **Poděkování**

V první řadě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Milanu Miholovi, Ph.D. za odborné vedení, poskytování cenných rad, času, připomínek a pedagogickou pomoc při vypracování bakalářské práce. Dále rodině za podporu, jak finanční, morální, tak psychickou. Také bych chtěl poděkovat kamarádům za pomoc během studia.

# Obsah

<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>10</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>13</b>
<b>Seznam použitých značek a symbolů .....</b>	<b>15</b>
<b>Slovník termínů a zkratk.....</b>	<b>16</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>17</b>
<b>1. Definice efektoru .....</b>	<b>18</b>
1.1    Obecná struktura efektoru .....	18
1.1.1    Interface .....	18
1.1.2    Pohon .....	18
1.1.3    Kompenzátor.....	19
1.1.4    Těleso.....	19
1.1.5    Úchopné, či technologické prvky .....	19
<b>2. Rozdělení efektorů podle vykonávané činnosti .....</b>	<b>20</b>
2.1    Technologické efektory .....	20
2.2    Manipulační efektory.....	20
2.3    Hybridní efektory .....	21
2.4    Kontrolní efektory .....	21
2.5    Speciální efektory .....	22
<b>3. Rozdělení manipulačních efektorů .....</b>	<b>23</b>
3.1    Magnetické efektory .....	24
3.1.1    Magnetické pasivní .....	24
3.1.2    Magnetické aktivní.....	25
3.2    Podtlakové efektory.....	26
3.2.1    Podtlakové pasivní .....	26
3.2.2    Podtlakové aktivní .....	27
3.3    Mechanické efektory .....	28
3.3.1    Mechanické pasivní .....	29
3.3.2    Mechanické aktivní.....	29
<b>4. Rozdělení mechanických efektorů s ohledem na druh používaného pohonu....</b>	<b>30</b>
4.1    Elektrické hlavice .....	30
4.1.1    Příklady využívaných elektromotorů.....	31



4.2	Pneumatické hlavice .....	32
4.3	Hydraulické hlavice .....	33
<b>5.</b>	<b>Rozdělení mechanických efektorů s ohledem na trajektorii pohybu jejich čelistí .....</b>	<b>34</b>
5.1	Paralelní pohyb .....	34
5.2	Úhlový pohyb .....	34
5.3	Obecný pohyb .....	35
<b>6.</b>	<b>Uchopovací proces čelist'ových efektorů .....</b>	<b>36</b>
6.1	Rozdělení způsobů uchopení součásti s využitím čelist'ových efektorů .....	37
6.1.1	Vnější způsob uchopení součásti .....	37
6.1.2	Vnitřní způsob uchopení součásti .....	37
6.1.3	Kombinovaný způsob uchopení součásti .....	38
<b>7.</b>	<b>Výběr chapadla z katalogu výrobce .....</b>	<b>39</b>
7.1	Objekt manipulace .....	39
7.1.1	Trajektorie pohybu OM .....	40
7.2	Definice pracovního procesu .....	41
7.2.1	Analýza problému .....	41
7.2.2	Popis prvků robotické linky .....	41
7.2.3	Popis pracovního cyklu .....	42
7.2.4	Definování polohy OM .....	43
7.2.5	Technické parametry manipulátoru .....	44
7.2.6	Požadavkový list efektoru .....	45
7.2.7	Stanovení bezpečnostního faktoru .....	45
7.2.8	Stanovení koeficientu tření .....	46
<b>8.</b>	<b>Varianty řešení .....</b>	<b>47</b>
8.1	Varianta č. 1 .....	47
8.1.1	Návrh prstů pro MPG plus 16-AS .....	50
8.2	Varianta č. 2 .....	51
8.2.1	Návrh prstů pro MPZ 20-AS .....	54
8.3	Varianta č. 3 .....	54
8.3.1	Návrh prstů pro MPG plus 25-IS .....	58
8.4	Varianta č. 4 .....	58
8.4.1	Návrh prstů pro DHPS-10-A-NC .....	61

8.5	Varianta č. 5.....	61
8.5.1	Návrh prstů pro DHDS-16-A-NC .....	64
8.6	Varianta č. 6.....	64
8.6.1	Návrh prstů pro DHPS-10-A-NO .....	67
<b>9.</b>	<b>Výběr vhodného efektoru .....</b>	<b>68</b>
9.1	Porovnávání kritéria.....	68
9.2	Hodnocení kritérií.....	68
9.3	Metoda trojúhelníkových párů .....	69
9.4	Porovnání variant.....	70
9.5	Vybraná varianta .....	70
<b>10</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>72</b>
	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>73</b>
	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>76</b>

## Seznam obrázků

Obr. 1.1. Obecná struktura efektoru [1].....	18
Obr. 2.1. Příklady technologických efektorů [3] [12].....	20
Obr. 2.2. Příklady manipulačních efektorů [13], [14] .....	21
Obr. 2.3. Příklady kombinovaných efektorů [9] .....	21
Obr. 2.4. Příklady kontrolních efektorů [28] .....	22
Obr. 2.5 Příklady speciálních efektorů. [17],[19] .....	22
Obr. 3.1 Rozdělení manipulačních efektorů. [1] .....	23
Obr. 3.2 Schéma uchopení předmětu pomocí magnetického efektoru. [4] .....	24
Obr. 3.3 Názorná ukázka magneticky pasivních efektorů. [2], [28].....	25
Obr. 3.4 Názorná ukázka magneticky pasivních efektorů. [14] .....	25
Obr. 3.5 Princip uchopení předmětu pomocí přísavky. [6] .....	26
Obr. 3.6 Názorná ukázka podtlakových pasivního efektorů a podtlakové přísavky. [4],[20] .....	27
Obr. 3.7 Názorná ukázka podtlakové hlavice využívající ejektor. [1], [2].....	27
Obr. 3.8 Názorná ukázka podtlakových aktivních efektorů. [15], [21] .....	28
Obr. 3.9 Možnosti uchopení OM pomocí mechanických efektorů. [5].....	28
Obr. 3.10 Názorná ukázka mechanických pasivních efektorů. [18].....	29
Obr. 3.11 Názorná ukázka mechanických aktivních efektorů. [14], [15].....	29
Obr. 4.1 Příklady hlavic s elektrickým motorem: efektor DESTACO Robohand vlevo a efektor od společnosti SCHUNK vpravo. [14], [16] .....	31
Obr. 4.2 Příklady hlavic s pneumatickým motorem: efektor od společnosti PARKER vlevo a efektor od společnosti SCHUNK vpravo. [14], [22].....	32
Obr. 4.3 Příklady hlavic s hydraulickým motorem: efektor od společnosti AMETEK vlevo a efektor od společnosti SCHUNK vpravo. [14], [23].....	33
Obr. 5.1 Schéma paralelního pohybu čelistí. [4] .....	34
Obr. 5.2 Příklady hlavic s paralelním pohybem čelistí: efektor od společnosti FESTO vlevo a efektor od společnosti SCHUNK vpravo. [14], [15].....	34
Obr. 5.3 Schéma úhlového pohybu čelistí. [4] .....	34
Obr. 5.4 Příklady hlavic s úhlovým pohybem čelistí: efektor od společnosti PARKER vlevo a efektor od společnosti SCHUNK vpravo. [14], [22].....	35
Obr. 5.5 Schéma obecného pohybu čelistí. [4] .....	35

---

Obr. 5.6 Příklady hlavic s paralelním pohybem čelistí: flexibilní efektor od společnosti ROBOTIQ vlevo a antropomorfní efektor od společnosti SCHUNK vpravo. [14], [24].....	35
Obr. 6.1 Názorná ukázka procesu uchopení. [10].....	36
Obr. 6.2 Schéma uchopení předmětu vnějším způsobem vlevo a vnější uchopení mince efektozem ze společnosti SCHUNK vpravo. [5], [14] .....	37
Obr. 6.3 Schéma uchopení předmětu vnitřním způsobem vlevo a vnitřní uchopení kroužku efektozem ze společnosti SCHUNK vpravo. [5], [14].....	38
Obr. 6.4 Schéma uchopení předmětu kombinovaným způsobem s využitím vnějšího povrchu součásti vlevo a kombinované uchopení kroužku prsty efektoru vpravo. [4], [5] .....	38
Obr. 7.1 Rozměry ozubeného kola s nábojem vlevo a 3D model ozubeného kola vpravo. [30].....	40
Obr. 7.2 Obrázek 7.8 Grafické znázornění trajektorie OM. ....	40
Obr. 7.3 Schématické znázornění robotizované linky. ....	41
Obr. 7.4 Přivedení objektu manipulace pomocí dopravníku a uchopení předmětu manipulátorem. [25].....	42
Obr. 7.5 Přemístění a kontrola rozměrů OM. [25].....	42
Obr. 7.6 Umístění součásti z inspekčního povrchu na dopravník, který jej odváží z pracoviště. [25] .....	42
Obr. 7.7 Odstranění zkontrolované součásti, navrácení efektoru do počáteční pozice a opakování cyklu. [25] .....	43
Obr. 7.8 Definování polohy OM s využitím prizmatického přípravku. [4].....	43
Obr. 7.9 Manipulátor Gemotec od společnosti SCHUNK. [14].....	44
Obr. 8.1 Konstrukce chapadla MPG-plus 16-AS. [14].....	49
Obr. 8.2 Ukázka uchopení OM pomocí efektoru MPG-plus 16-AS s navrhnutými prizmatickými čelistmi vlevo a detail prstu pro paralelní efektor MPG-plus 16-AS vpravo. ....	50
Obr. 8.3 Konstrukce chapadla MPZ 20-AS. [14] .....	53
Obr. 8.4 Ukázka uchopení OM pomocí efektoru MPZ 20-AS s navrhnutými cylindrickými čelistmi vlevo a detail prstu pro paralelní efektor MPZ 20-AS vpravo. ....	54
Obr. 8.5 Konstrukce chapadla MPG-plus 25-IS. [14] .....	57
Obr. 8.6 Ukázka uchopení OM pomocí efektoru MPG plus 25-IS s navrhnutými cylindrickými čelistmi vlevo a detail prstu pro paralelní efektor MPG plus 25-IS vpravo. ....	58

---

---

Obr. 8.7 Konstrukce chapadla DHPS-10-A-NC. [14] .....	60
Obr. 8.8 Ukázka uchopení OM pomocí efektoru DHPS-10-A-NC s navrhnutými cylindrickými čelistmi vlevo a detail prstu pro paralelní efektor DHPS-10- A-NC vpravo.....	61
Obr. 8.9 Konstrukce chapadla DHDS-16-A-NC. [15].....	63
Obr. 8.10 Ukázka uchopení OM pomocí efektoru DHDS-16-A-NC s navrhnutými cylindrickými čelistmi vlevo a detail prstu pro paralelní efektor DHDS-16- A-NC vpravo.....	64
Obr. 8.11 Konstrukce chapadla DHPS-10-A-NO. [15] .....	66
Obr. 8.12 Ukázka uchopení OM pomocí efektoru DHPS-10-A-NO s navrhnutými cylindrickými čelistmi vlevo a detail prstu pro paralelní efektor DHPS-10- A-NO vpravo. ....	67
Obr. 9.1 Zvolený efektor MPG-plus 16-AS. [14].....	70

## Seznam tabulek

Tab. 4.1 Výhody elektricky poháněných hlavíc. [1], [11], [14] .....	30
Tab. 4.2 Nevýhody elektricky poháněných hlavíc. [1], [11] .....	30
Tab. 4.3 Výhody pneumaticky poháněných hlavíc. [11] .....	32
Tab. 4.4 Nevýhody pneumaticky poháněných hlavíc. [11] .....	32
Tab. 4.5 Výhody hydraulicky poháněných hlavíc. [11] .....	33
Tab. 4.6 Nevýhody hydraulicky poháněných hlavíc. [11] .....	33
Tab. 7.1 Parametry objektu manipulace. [30] .....	39
Tab. 7.2 Parametry manipulátoru. ....	44
Tab. 7.3 Požadavky na efektor .....	45
Tab. 7.4 Koeficienty tření pro vybrané materiály. [4] .....	46
Tab. 8.1 Výpočet úchopné síly pro návrh varianty č. 1. ....	47
Tab. 8.2 Výpočet minimálního zdvihu čelistí pro návrh varianty č. 1. ....	48
Tab. 8.3 Technické parametry efektoru MPG plus 16-AS. [14] .....	49
Tab. 8.4 Výpočet úchopné síly pro návrh varianty č. 2. ....	51
Tab. 8.5 Výpočet minimálního zdvihu čelistí pro návrh varianty č. 2 .....	52
Tab. 8.6 Technické parametry efektoru MPZ 20-AS. [14] .....	53
Tab. 8.7 Výpočet úchopné síly pro návrh varianty č. 3. ....	55
Tab. 8.8 Výpočet minimálního zdvihu čelistí pro návrh varianty č. 3 .....	55
Tab. 8.9 Technické parametry efektoru MPG plus 25-IS. [14] .....	57
Tab. 8.10 Velikost úchopné síly pro návrh varianty č. 4. ....	58
Tab. 8.11 Výpočet minimálního zdvihu čelistí pro návrh varianty č. 4 .....	59
Tab. 8.12 Technické parametry efektoru DHPS-10-A-NC. [15] .....	60
Tab. 8.13 Velikost úchopné síly pro návrh varianty č. 5. ....	62
Tab. 8.14 Výpočet minimálního zdvihu čelistí pro návrh varianty č. 5 .....	62
Tab. 8.15 Technické parametry efektoru DHDS-16-A-NC. [15] .....	63
Tab. 8.16 Velikost úchopné síly pro návrh varianty č. 6. ....	64
Tab. 8.17 Výpočet minimálního zdvihu čelistí pro návrh varianty č. 6. ....	65
Tab. 8.18 Technické parametry efektoru DHPS-10-A-NO. [15] .....	66
Tab. 9.1 Porovnávání kritéria. ....	68
Tab. 9.2 Hodnocení kritérií. ....	68

---

Tab. 9.3 Metoda trojúhelníkových párů.....	69
Tab. 9.4 Porovnání variant 1-6. ....	70
Tab. 9.5 Technické parametry efektoru MPG plus 16-AS. [14].....	71

## Seznam použitých značek a symbolů

Symbol	Význam	Jednotka
$F_u$	Teoretická síla, kterou musí vyvinout čelisti k uchopení ozubení	[N]
$H_{\min}$	Minimální zdvih čelisti	[mm]
$R_1$	Minimální velikost poloměru obrobku	[mm]
$R_2$	Maximální velikost poloměru obrobku	[mm]
$S$	Koeficient bezpečnosti	[-]
$S_1$	Upínací přesah	[mm]
$S_2$	Vkládací vůle	[mm]
$a$	Zrychlení manipulátoru	[m · s <sup>-2</sup> ]
$g$	Tíhové zrychlení	[m · s <sup>-2</sup> ]
$m_o$	Hmotnost ozubeného kola	[kg]
$n_{\check{c}}$	Počet čelistí efektoru	[-]
$p$	Počet voleb	[-]
$v$	Váha významnosti	[-]
$\alpha_{\frac{1}{2}}$	Poloviční úhel tvarového vybrání v prstech	[°]
$\alpha$	Úhel tvarového vybrání v prstech	[°]
$\mu_{HO}$	Součinitel tření hliník-ocel pro mazaný povrch	[-]
$\Delta S$	Odchylka polohy	[mm]
$\Delta S_{\check{c}}$	Maximální odchylka polohy čelistí efektoru	[mm]
$\Delta S_M$	Maximální odchylka polohy manipulátoru	[mm]
$\Delta S_{OM}$	Maximální odchylka polohy OM	[mm]



**Slovník termínů a zkratk**

Antropomorfní	napodobující tvary lidské postavy
Hybridní	vzniklý kombinací
Komprese	stlačování
Prizma	hranol
OM	objekt manipulace
Č.	číslo
K	kritérium

## Úvod

Cílem bakalářské práce je zvolit efektor z katalogu výrobce, který bude vhodný pro definovanou manipulační úlohu s ozubeným kolem.

Na počátku práce je vyhotovena rešerše se zaměřením na efekторы, převážně na jejich rozdělení podle mnoha kritérií s hlubším zacílením na čelist'ové efekторы.

Následně je vybrána a charakterizována manipulační úloha, objekt manipulace a manipulátor.

Poté následuje volba efektoru z katalogu výrobce. Je vypracován návrh jednotlivých variant, výpočty úchopných sil, výpočty potřebných zdvihů. Ke každé variantě jsou vytvořeny speciálně uzpůsobené prsty, doplněné o výrobní výkresy, uvedené v sekci přílohy.

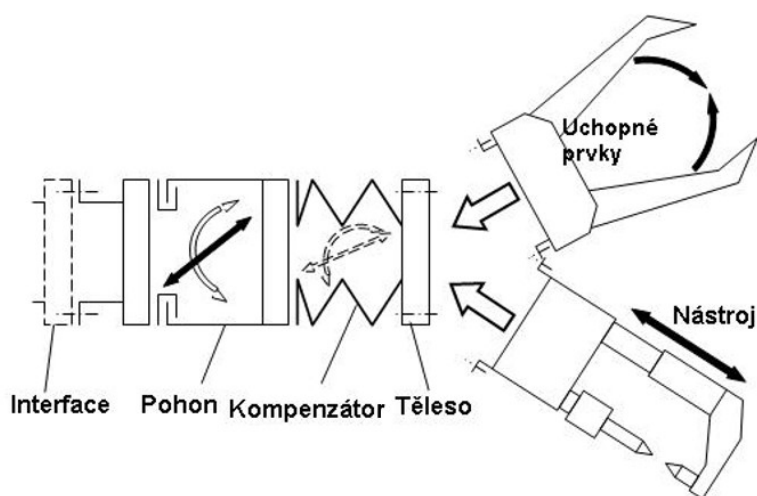
Posledním bodem je zvolení optimální varianty a její představení.

## 1. Definice efektoru

Efektor je koncová část průmyslového robotu, případně manipulátoru. Tato část umožňuje vzájemné působení mezi průmyslovým robotem, či manipulátorem a objektem manipulace. Jejich účelem je realizace požadovaných úloh, pro něž byl efektor navržen. [1]

### 1.1 Obecná struktura efektoru

Jednotlivé konstrukce efektorů se mohou vzájemně drobně odlišovat podle účelu využití hlavice. Obecně se konstrukce efektoru skládá z částí uvedených na Obr. 1.1.



Obr. 1.1. Obecná struktura efektoru [1]

#### 1.1.1 Interface

Zajišťuje spojení efektoru s koncovým ramenem robotu. Jedním z hlavních požadavků na interface je zajištění přesného tuhého spojení. Mezi další požadavky patří přenos energie, či informací do koncové hlavice. [1]

#### 1.1.2 Pohon

Pohon se skládá ze dvou částí. První částí je motor, v němž dochází k přeměně energie (např. elektrické, tlakové) na energii mechanickou. Druhou částí je transformační blok. Ten využívá mechanickou energii z motoru a přivádí ji na pohyblivé prvky efektoru. [1]

### 1.1.3 Kompenzátor

Používá se pouze v případech, pokud je nezbytně nutné vyloučit nepřesnosti komplikující ideální uchopení OM. Využívá poddajnosti, jež umožňuje efektoru nastavit se do ideální polohy pro uchopení předmětu. Nicméně elasticita obecně pro robotická zařízení není vhodná. Poddajnost může mít za následek nepříjemné rozkmitání systému, kterému lze předejít aretací kompenzátoru. [1]

### 1.1.4 Těleso

Zastává důležitou úlohu při spojení technologických, či úchopných prvků s ostatními částmi efektoru. Jedná se o základní nosný stavební prvek, který má rozhodující vliv na tuhost a přesnost efektoru. [1]

### 1.1.5 Úchopné, či technologické prvky

**Úchopné prvky** určují výslednou strukturu hlavice. Tyto členy vybíráme tak, abychom zajistili optimální parametry při interakci s OM. [1]

**Technologické prvky** vybíráme s ohledem na parametry pracovního prostoru. [1]

Na rozdělení efektorů z hlediska těchto koncových prvků se podrobněji zaměříme v kapitole číslo 2 Rozdělení efektorů podle vykonávané činnosti.

## 2. Rozdělení efektorů podle vykonávané činnosti

V závislosti na objektu manipulace je můžeme rozdělit na:

1. **Technologické.**
2. **Manipulační.**
3. **Hybridní (kombinované).**
4. **Kontrolní.**
5. **Speciální.**

### 2.1 Technologické efekторы

Technologické efekторы obsahují technologické prvky. Tyto efekторы umožňují vykonávání technologických operací, čímž máme na mysli například svařování, lakování, obrábění, montáž apod. Efektor umožňující svařování od společnosti Fanuc je uveden na Obr. 2.1 vlevo, hlavice provádějící laserové řezání kovu je uvedena na Obr. 2.1 vpravo. [1], [3], [12]



Obr. 2.1. Příklady technologických efektorů [3], [12]

### 2.2 Manipulační efekторы

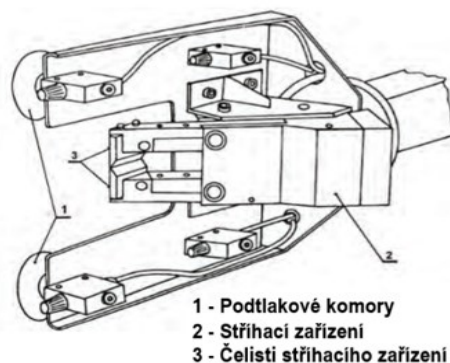
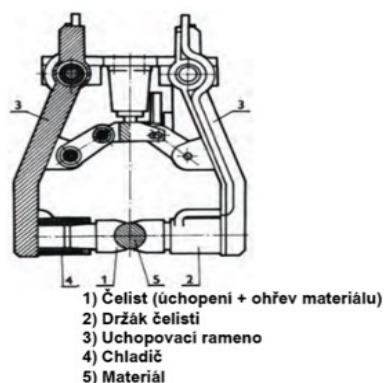
Součástí manipulačních hlavice jsou uchopovací prvky. Úkolem manipulačních efektorů je uchopit objekt manipulace a následně podle potřeby přemístit. Tyto hlavice dělíme na mechanické, magnetické a podtlakové. Podrobnější rozdělení efektorů, které umožňují uchopení objektů, podrobněji rozebereme v rámci kapitoly číslo 3 Rozdělení manipulačních efektorů. [1]



Obr. 2.2. Příklady manipulačních efektorů [13], [14]

## 2.3 Hybridní efektory

Vznikají kombinací uchopovacích hlavic s technologickými. Tyto hlavice jsou zpravidla navrženy tak, aby splnily předem požadovaný účel pro konkrétní individuálně navržené řešení. Můžeme na ně narazit například při manipulaci a ohřevu přesouvaného předmětu (Obr. 2.3 vlevo), nebo při manipulaci a řezání odlitků z plastu (Obr. 2.3 vpravo). [9]

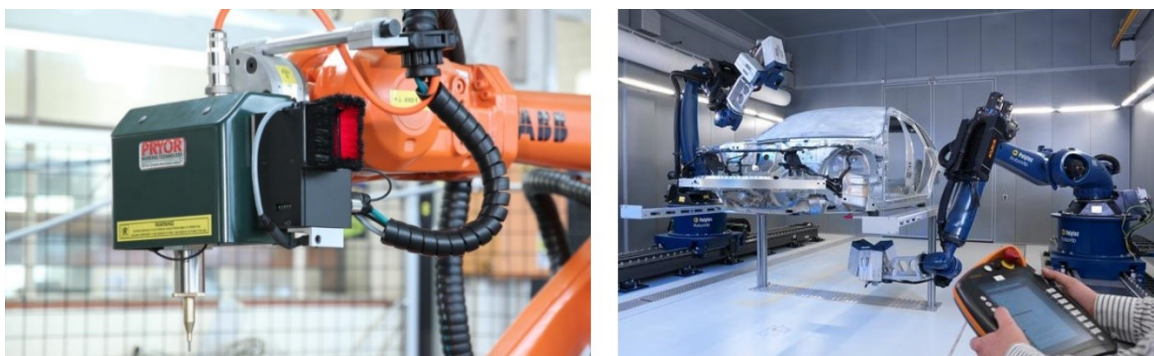


Obr. 2.3. Příklady kombinovaných efektorů [9]

## 2.4 Kontrolní efektory

Kontrolní efektory slouží k zjišťování snímaných parametrů vyrobené součásti. Obsahují snímače, případně měřidla. Obvykle tyto hlavice využívají 2D, nebo 3D kamery, či skenery. Ve velkém měřítku se využívají kontrolní kamery ve spolupráci s technologickými, nebo manipulačními efektory. Tato spolupráce je znázorněna na Obr. 2.4 vlevo, na němž je znázorněn efektor pro práci s texty nebo kódy za pomoci zabudované kamery. Na obrázku Obr. 2.4 vpravo můžeme pozorovat plně automatické kontrolní

hlavice s 3D skenovacím vibrometrem využívané v automobilovém průmyslu. [28]



Obr. 2.4. Příklady kontrolních efektorů [28]

## 2.5 Speciální efektory

Řadíme zde efektory, které jsou natolik specifické, že je nelze zařadit do žádné z předchozích uvedených skupin. V praxi se s nimi nejčastěji můžeme setkat například v lékařství. Servisní roboti, kteří pracují v chirurgii, mají koncové efekторы speciálně vyrobeny pro vykonání potřebného operačního zákroku (Obr. 2.5 vlevo). Další typ speciálního efektoru nabízí společnost KUKA pro využití v zábavním průmyslu (Obr. 2.5 vpravo). [9], [19]



Obr. 2.5. Příklady speciálních efektorů [17], [19]

### 3. Rozdělení manipulačních efektorů

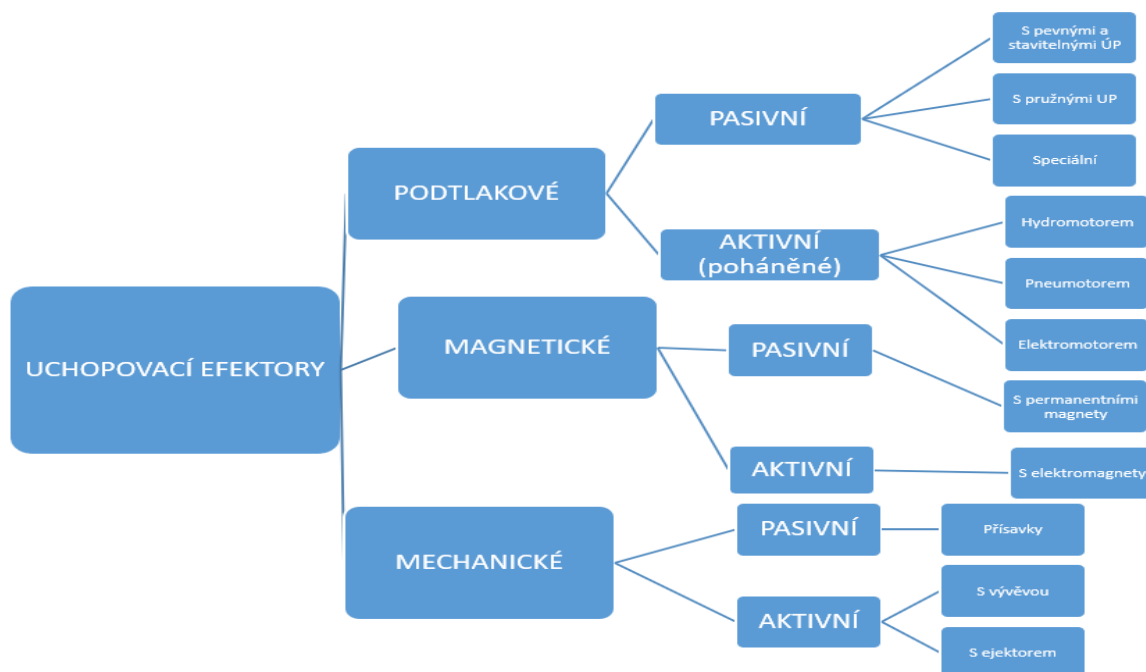
S manipulačními efekty se v praxi setkáme nejčastěji, jelikož ze všech efektorů mají v průmyslu nejširší uplatnění. Uchopení předmětů může být vyvoláno celou řadou nejrozumnějších typů efektorů. Zaměříme se však na hlavice, s nimiž můžeme obvykle přijít do kontaktu kvůli jejich rozšířenosti. Uchopení může být nejběžněji uskutečněno pomocí čelistí, magnetů, nebo přísavek. Přehledné rozdělení hlavic umožňující manipulaci s objekty (Obr. 3.1). Všechny tyto varianty se následně dělí podle schopnosti ovládat uchopovací sílu na:

#### a) Pasivní

Pasivní úchopné hlavice obsahují úchopné prvky, které neumožňují ovládání úchopné síly. Umožňují uchopení předmětu, ale pro jejich uvolnění je obvykle zapotřebí jiné zařízení, nebo například využití trhavého pohybu ramene robota. Úchopné hlavice, které obsahují pouze pasivní prvky, nazýváme pasivní koncové efekty. [1]

#### b) Aktivní

Aktivní hlavice umožňují ovládání úchopné síly. Tyto prvky tedy umožňují uchopení i bezproblémové uvolnění předmětu. Pokud hlavice obsahuje alespoň jeden aktivní prvek, označujeme koncový efektor jako aktivní. [1]

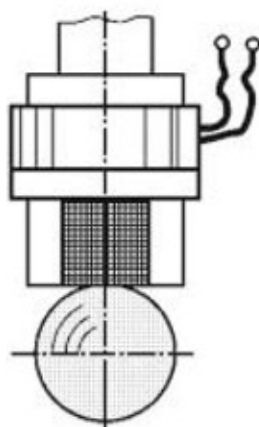


Obr. 3.1. Rozdělení manipulačních efektorů [1]



### 3.1 Magnetické efekторы

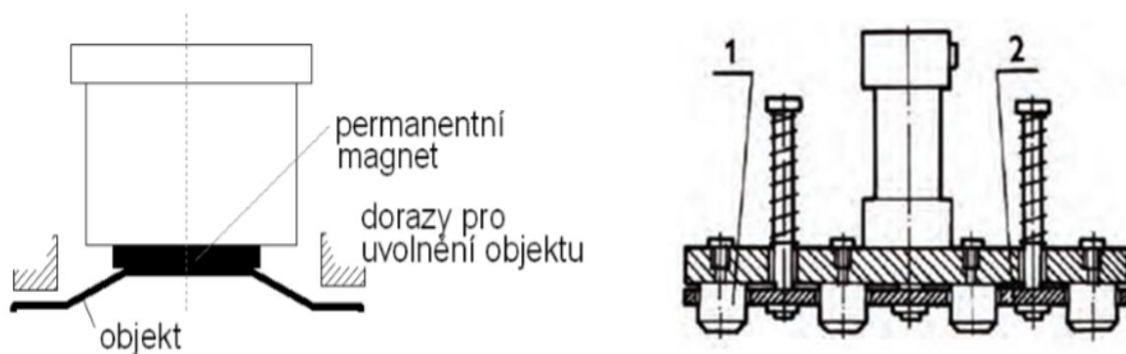
Tento způsob uchopení je velmi účelný při manipulaci s feromagnetickým materiálem. Manipulování s objektem je umožněno díky schopnosti efektoru, který působí jako zdroj magnetického pole. Efektor ovlivní svým magnetickým polem požadovaný předmět, zmagnetizuje ho a přitáhne k sobě. Takto dochází k uchopení objektu manipulace a následuje přemístění. Jednoduchá konstrukce a možnost uchopit rozsáhlou škálu předmětů, z nich činí velmi užívaný typ hlavice. Při volbě vhodné hlavice máme na výběr využít hlavice s permanentními magnety, či elektromagnety, které si dále podrobněji rozebereme. [2], [7]



Obr. 3.2. Schéma uchopení předmětu pomocí magnetického efektoru [4]

#### 3.1.1 Magnetické pasivní

Magnetické pasivní efekторы jsou vybaveny permanentními magnety. Tyto magnety nepotřebují k uchopení předmětu přísun energie a lze je tedy použít i v aplikacích, kde hrozí nebezpečí vznícení. Mezi hlavní výhody patří také nízké pořizovací náklady. Nevýhodou těchto hlavice je uvolnění objektu manipulace, či neustálý magnetismus, jehož příčinou dochází k zachytávání škodlivých drobných předmětů z feromagnetického materiálu. Uvolnění bývá dosaženo pomocí dorazů a pohybu ramene v tangenciálním směru (Obr. 3.3 vlevo). U většiny případů dochází k upuštění předmětů pomocí přídatného aktivního strojního zařízení. Například na Obr. 3.3 vpravo, kde pod označením 1 vidíme pouzdro s permanentním magnetem a pod označením 2 vyhazovací desku ovládanou pneumaticky. [2], [7], [28]



Obr. 3.3. Názorná ukázka magneticky pasivních efektorů [2], [28]

### 3.1.2 Magnetické aktivní

Magneticky aktivní efekторы obsahují elektromagnety, které jsou řízeny programem. Tyto hlavice čerpají energii z baterií, z generátorů, případně ze zdroje usměrněného střídavého elektrického proudu. Při uvolňování předmětů menších hmotností může docházet k nežádoucímu zbytkovému magnetismu. Ten zapříčiní neuvolnění objektu. Zbytkový magnetismus je možné odstranit přivedením proudu s opačnou polaritou, která odstraní nežádoucí přebytečné magnetické působení a zajistí uvolnění objektu manipulace. Příklad použití magneticky aktivních efektorů při manipulaci s plechy z feromagnetického materiálu vidíme na Obr. 3.4 vpravo. [2], [7], [28]

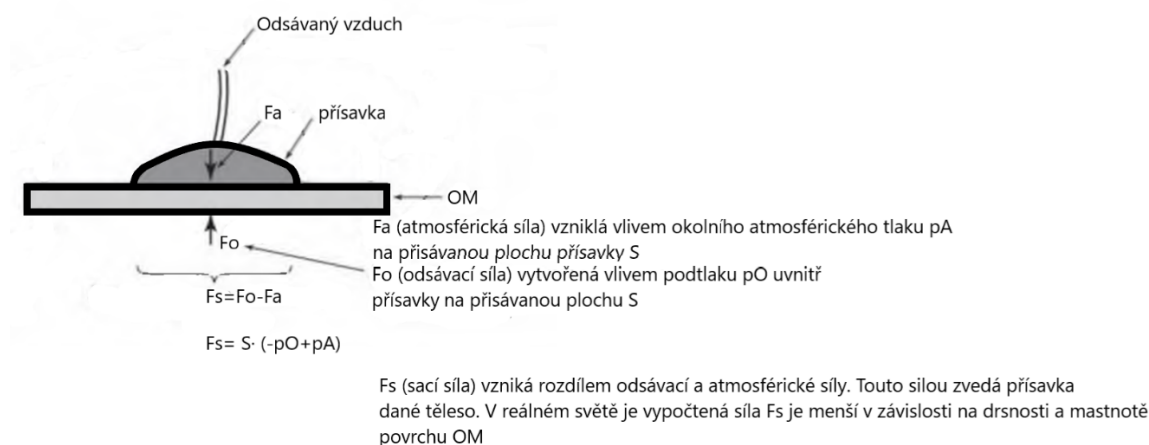
Velmi příznivé z hlediska spotřebované energie je využití kombinace elektromagnetů s permanentními magnety, jelikož elektrický proud se využívá pouze k magnetizaci a demagnetizaci, ale není potřeba při samotném manipulování s objektem. Příklad takového efektoru znázorňuje Obr. 3.4 vlevo. [28]



Obr. 3.4. Názorná ukázka magneticky pasivních efektorů [14]

## 3.2 Podtlakové efekty

Využívají podtlak k uchopení objektu manipulace. Podtlak může být vytvořen pomocí pasivních, nebo aktivních úchopných prvků. Velmi důležitou částí podtlakových hlavice jsou přísavky. Přísavky čili pružné manžety se obvykle vyznačují tvarem talíře, či kalichu. Tento tvar konstrukce má za úkol ideálně přizpůsobit objektu manipulace, následně zprostředkovat přímé mechanické spojení a dostatečně utěsnit vlastní vnitřní prostor manžety. Vysvětlení práce přísavky na aktivní přísavce vidíme na obrázku Obr. 3.5. Názorný příklad je sice proveden na aktivní přísavce, nýbrž tento princip platí také pro přísavky pasivní s drobným rozdílem v tom, že není využito aktivního prvku, který zajistí odsání vzduchu. [1], [2]



Obr. 3.5. Princip uchopení předmětu pomocí přísavky [6]

### 3.2.1 Podtlakové pasivní

Podtlakové pasivní efekty jsou závislé na pohybu ramene robota. Rameno přitlačí přísavku k určenému objektu, čímž dojde k vytlačení vzduchu z její vnitřní části do okolí a zmenšení objemu uvnitř pružné manžety. Dochází k pružné deformaci. Následuje zpětný pohyb ramene, přičemž se přísavka vrátí do mezipolohy, současně dochází ke zvětšení prostoru uvnitř komory. Tímto způsobem vznikne podtlak. Úchopná síla je tedy závislá nejen na velikosti stykové plochy, ale i tuhosti, či na tvaru pasivní přísavky. Uvolnění předmětu zajišťuje zpětný pohyb ramene, eventuálně uvolňovací ventil. Vzhledem k tomuto principu, můžeme pasivní podtlakové hlavice použít pouze na manipulaci s rovnými hladkými předměty, u kterých nehrozí jejich poškození vlivem počáteční přitlačné síly. [1]

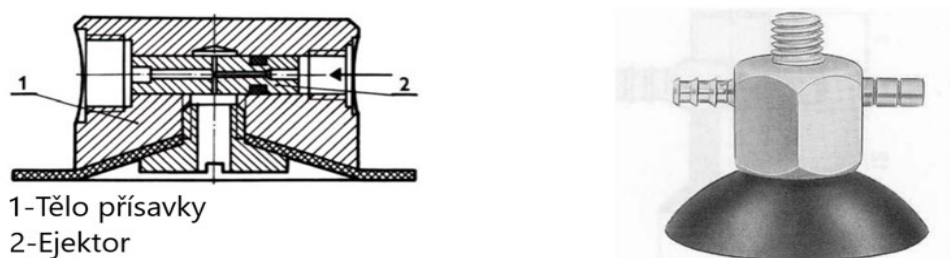
Využívají se k uchopení plochých tenkých předmětů. Pro představu se může jednat například o části karosérií v automobilovém průmyslu, skleněné tabule ve sklářském průmyslu nebo například o tenké plechy z ocele ve strojírenském průmyslu. Příklad ovladatelné pasivní přísavky viz Obr. 3.6 vlevo. Uvolnění předmětu je docíleno manuálně ovládaným prvkem. Po stisknutí tlačítka dojde k posunutí kluzné klapky, následuje volný průchod vzduchu a poklesu tlaku, který způsobí uvolnění drženého předmětu. [1], [4]



Obr. 3.6. Názorná ukázka podtlakových pasivního efektorů a podtlakové přísavky [4], [20]

### 3.2.2 Podtlakové aktivní

Podtlak v těchto hlavicích může být vytvořen prostřednictvím ejektorů, či v mimořádných případech vývěv. Podstata práce ejektoru spočívá ve vzniku podtlaku v nejužší části dýzy, kterou prochází kompresovaný vzduch a dýza je současně spojena s místem pod přísavkou, kde vzniká podtlak. Schéma ejektoru viz Obr. 3.7 vlevo. Hlavičky, které využívají ke vzniku podtlaku ejektor, můžeme rozdělit do dvou skupin. Do první bezpečnější skupiny řadíme efektor, u nichž každá přísavka má svůj vlastní ejektor. Naproti tomu u druhé varianty je několik manžet napojeno na jeden společný ejektor. U této konstrukce je potřeba mít na paměti, aby se jednotlivé komory neovlivňovaly a na každé přísavce byl zajištěn ideální podtlak umožňující bezpečnou manipulaci. [1], [2]



Obr. 3.7. Názorná ukázka podtlakové hlavičky využívající ejektor [1], [2]

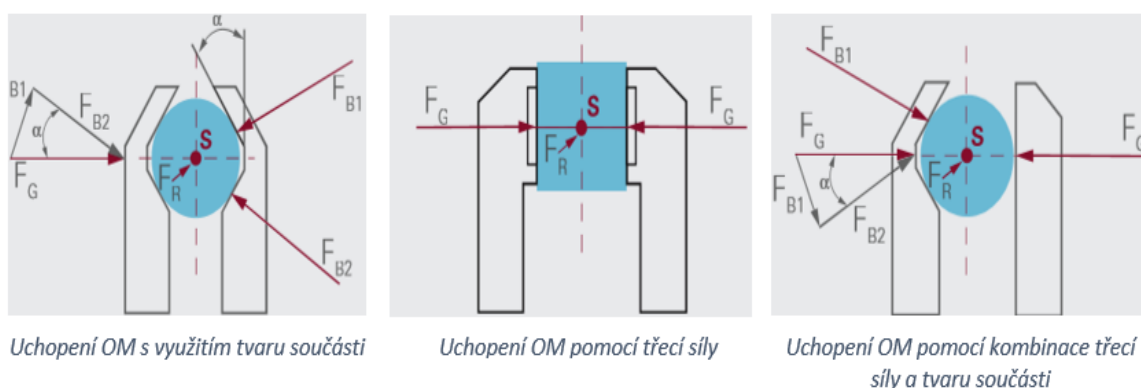
Vývěvy odčerpávají vzduch pomocí pístových, či lamelových soustrojí. Jsou sice při práci tišší a výkonnější než ejektory, ovšem ejektory jsou levnější, spolehlivější a výhodnější z hlediska dostupnosti stlačeného vzduchu. Právě kvůli těmto zásadním důvodům se s nimi v praxi setkáváme daleko častěji než s vývěvami. [2]



Obr. 3.8. Názorná ukázka podtlakových aktivních efektorů [15], [21]

### 3.3 Mechanické efektor

Jsou nejvyužívanějšími typem efektorů v průmyslové automatizaci. Pro zajištění bezpečné manipulace je potřeba, aby kontaktní plochy mechanického efektoru plně dosedly na povrch objektu manipulace. K uchopení požadovaného předmětu využívají mechanická chapadla buď tlakovou sílu, nebo tření, případně i gravitaci. Můžeme rozlišit silový, nebo tvarový způsob úchopu. Silový způsob uchopení využívá k udržení objektu manipulace třecí sílu, zatímco tvarový způsob tvar součástí. V praxi se můžeme setkat i s kombinací obou principů (Obr. 3.9). [1], [2]



Obr. 3.9. Možnosti uchopení OM pomocí mechanických efektorů [5]

### 3.3.1 Mechanické pasivní

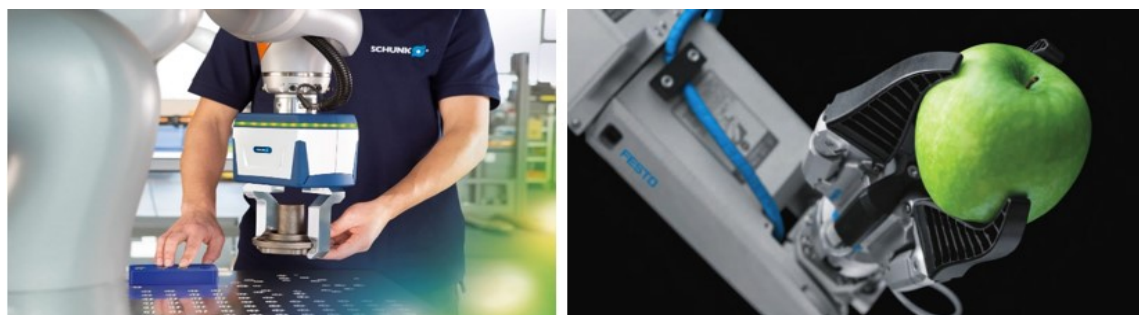
Označují se jako nejjednodušší typy efektorů. Pro dokonalou představu zde řadíme efektory typu háků, čepů, ale v této skupině najdeme i speciální suchý zip. Díky jednoduché konstrukci je možné jejich využití pouze u nenáročných operací, pro které tyto efekторы zcela postačují a bylo by cenově nevýhodné pořizovat dražší složitější hlavici. Složitější konstrukce mohou obsahovat pružné, či odpružené čelisti. Na obrázku Obr. 3.10 vlevo je zobrazen hákový efektor a na obrázku Obr. 3.10 vpravo dvéřový hák. Oba tyto efekторы jsou od výrobce ETS (EDGE TACTICAL SOLUTIONS) pro využití v armádním průmyslu. [1], [2], [4]



Obr. 3.10. Názorná ukázka mechanických pasivních efektorů [18]

### 3.3.2 Mechanické aktivní

Tyto hlavice se liší od mechanických pasivních tím, že obsahují alespoň jeden pohyblivý koncový člen, který je řízený programem. Pro uchopení předmětu používají mechanické prsty, připevněné k čelistem ovládaným mechanismem. Z důvodu zajištění kvalitnějšího uchopení bývají mechanické prsty obaleny například plastem, nebo pryží. Aktivní čelisti mají dvě základní charakteristické polohy, ve kterých jsou koncové prvky buď sevřeny, nebo naopak otevřeny. Tyto hlavice se označují také jako „poháněné“. Na podrobnější rozdělení těchto hlavic podle druhů jejich pohonů se zaměříme v kapitole 4 a podle možností pohybů jejich čelistí v kapitole 5. [2], [4]



Obr. 3.11. Názorná ukázka mechanických aktivních efektorů [14], [15]



## 4. Rozdělení mechanických efektorů s ohledem na druh používaného pohonu

Motory jsou základními členy pohonných jednotek, které umožňují čelistem efektorů vykonávat potřebný pohyb. K pohánění čelistových efektorů v praxi užíváme tyto typy motorů:

1. Elektrické motory.
2. Pneumatické motory.
3. Hydraulické motory.

### 4.1 Elektrické hlavice

Elektrické motory používáme zejména pro efekty, u nichž nepotřebujeme vyvinout velké výkony (do cca 6kW.), nebo například při manipulaci s objekty ve velmi čistých provozech, např. v lékařství či v laboratorním prostředí. [1], [11], [14]

Tab. 4.1. Výhody elektricky poháněných hlavic [1], [11], [14]

Výhody elektrických hlavic
Vysoká přesnost polohování.
Cenová výhodnost.
Snadná dostupnost elektřiny.
Vysoká provozní čistota.
Ve srovnání s hydraulikou vydávají mnohem méně hluku.
Snadná realizace přivedení elektřiny do motoru a spojení s řídicími prvky.
Relativně snadná údržba.

Tab. 4.2. Nevýhody elektricky poháněných hlavic [1], [11]

Nevýhody elektrických hlavic
Potřeba neustálé dodávky elektřiny.
Hrozí zasažení obsluhy elektrickým proudem.
Nesnášenlivost vysokých pracovních teplot.
Při přetěžování hrozí poškození motoru.

### 4.1.1 Příklady využívaných elektromotorů

K pohánění elektrických hlavic můžeme použít elektromotory se střídavým, nebo stejnosměrným napětím. Výstup motorů můžeme volit rotační, či přímočarý. V praxi využíváme tyto elektromotory pro pohánění elektrických efektorů: [1], [11]

1. Krokové motory.
2. Lineární motory.
3. Servomotory.
4. Piezoelektrické motory.

#### 4.1.1.1 Krokové motory

Výhodou krokových elektrických motorů je snadné ovládání rychlosti chodu zařízení i cenová dostupnost. Handicapem krokových motorů je schopnost vyvinout pouze malé kroutící momenty, které se zmenšují se zvyšujícími se otáčkami. Jsou vhodné zejména pro nenáročné aplikace s malými rychlostmi. [1], [11]

#### 4.1.1.2 Lineární motory

Mění elektrickou energii rovnou na mechanickou energii posuvného pohybu. Využívány jsou především u hlavic vyžadujících obzvláště rychlý pohyb čelistí. [11]

#### 4.1.1.3 Servomotory

Servomotory mají uplatnění u efektorů, které potřebují citlivé řízení úchopné síly, polohování, nebo například dosažení vyšší rychlosti. Jsou ovšem cenově nákladnější než krokové motory. [11]

#### 4.1.1.4 Piezoelektrické motory

Jsou určeny k pohánění efektorů manipulujících s nadmíru lehkými předměty, či s velmi rychlým pohybem čelistí s malým zdvihem. [11]



Obr. 4.1. Příklady hlavic s elektrickým motorem: efektor DESTACO Robohand vlevo a efektor od společnosti SCHUNK vpravo [14], [16]



## 4.2 Pneumatické hlavice

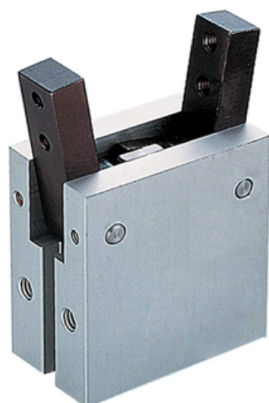
Pneumatické hlavice jsou ze všech druhů pohonů v praxi nejvíce používány. Je to způsobeno zejména jejich jednoduchostí, díky které dosahují dlouhé životnosti a spolehlivosti. Ke své činnosti používají stlačený vzduch. Využívají se zejména u manipulátorů a robotů, které manipulují se středně těžkými a lehkými objekty. [11]

Tab. 4.3. Výhody pneumaticky poháněných hlavic [11]

Výhody pneumatických hlavic
Schopnost vyvinout velmi rychlý přímočarý chod.
Vysoká účinnost.
Možnost využít připojení k centrálnímu rozvodu vzduchu pohonu robota.
Možnost využít ve výbušném, prašném, vlhkém prostředí, nebo prostředí s výraznou změnou teplot.

Tab. 4.4. Nevýhody pneumaticky poháněných hlavic [11]

Nevýhody pneumatických hlavic
Malá polohovací přesnost.
Vyšší pořizovací cena vzhledem k elektrickému, či hydraulickému pohonu.
Komplikované zajištění rovnoměrného pohybu při nízkých rychlostech.



Obr. 4.2. Příklady hlavic s pneumatickým motorem: efektor od společnosti PARKER vlevo a efektor od společnosti SCHUNK vpravo [14], [22]

### 4.3 Hydraulické hlavice

Pracují velmi podobně jako pneumatické hlavice, pouze využívají při práci místo stlačeného vzduchu odlišnou tekutinu, a to minerální oleje. Tyto motory mají schopnost vytvářet a přenést velké síly, to znamená ale i mnohem větší vnitřní tlak než například u pneumatiky. Z tohoto důvodu je kladen důraz na dostatečnou tuhost a robustnost konstrukce. Hydraulické hlavice se užívají zejména při manipulaci s objekty s velmi vysokou hmotností, kde už elektrické motory nestačí. [11]

Tab. 4.5. Výhody hydraulicky poháněných hlavic [11]

Výhody hydraulických hlavic
Přesná regulace úchopné síly.
Schopnost manipulace s velmi těžkými OM. (řádově tisíce kg)
Schopnost vyvinout velmi vysoké síly.
Vyšší polohovací přesnost než u pneumatiky.

Tab. 4.6. Nevýhody hydraulicky poháněných hlavic [11]

Nevýhody hydraulických hlavic
Robustnost konstrukce.
Nízká rychlost čelistí.
Nebezpečí vzniku poškození při úniku kapaliny.
Podmíněné filtrování z důvodu udržení čistoty kapaliny a nákladný servis.
Vyšší hlučnost.



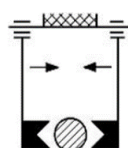
Obr. 4.3. Příklady hlavic s hydraulickým motorem: efektor od společnosti AMETEK vlevo a efektor od společnosti SCHUNK vpravo [14], [23]

## 5. Rozdělení mechanických efektorů s ohledem na trajektorii pohybu jejich čelistí

Podle trajektorie, kterou konají čelisti vzhledem k tělu úchopné hlavice, můžeme rozlišit tyto typy pohybů: [8]

1. Paralelní pohyb.
2. Úhlový pohyb.
3. Speciální pohyb.

### 5.1 Paralelní pohyb



Paralelní pohyb

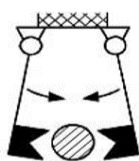
Obr. 5.1. Schéma paralelního pohybu čelistí [4]

Čelisti efektoru se pohybují po rovnoběžkách, či jedné úsečce. Tento způsob pohybu čelistí se vyznačuje vysokou přesností polohování. [8]



Obr. 5.2. Příklady hlavic s paralelním pohybem čelistí: efektor od společnosti FESTO vlevo a efektor od společnosti SCHUNK vpravo [14], [15]

### 5.2 Úhlový pohyb



Úhlový pohyb

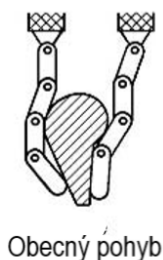
Obr. 5.3. Schéma úhlového pohybu čelistí [4]

Čelisti efektoru se rozevírají a svírají o určitý úhel okolo bodu ležícího v průsečíku os jednotlivých čelistí. Jejich použití je výhodné zvláště v případě, pokud musí hlavice pracovat v omezeném prostoru. [8]



Obr. 5.4. Příklady hlavic s úhlovým pohybem čelistí: efektor od společnosti PARKER vlevo a efektor od společnosti SCHUNK vpravo [14], [22]

### 5.3 Obecný pohyb



Obr. 5.5. Schéma obecného pohybu čelistí [4]

Čelisti efektoru při uchopování předmětu vykonávají obecný pohyb, který jim umožní ideální uchopení předmětu. Pohyb jednotlivých chapadel přitom nemusí být na sobě vzájemně závislý. [8]



Obr. 5.6. Příklady hlavic s paralelním pohybem čelistí: flexibilní efektor od společnosti ROBOTIQ vlevo a antropomorfní efektor od společnosti SCHUNK vpravo [14], [24]

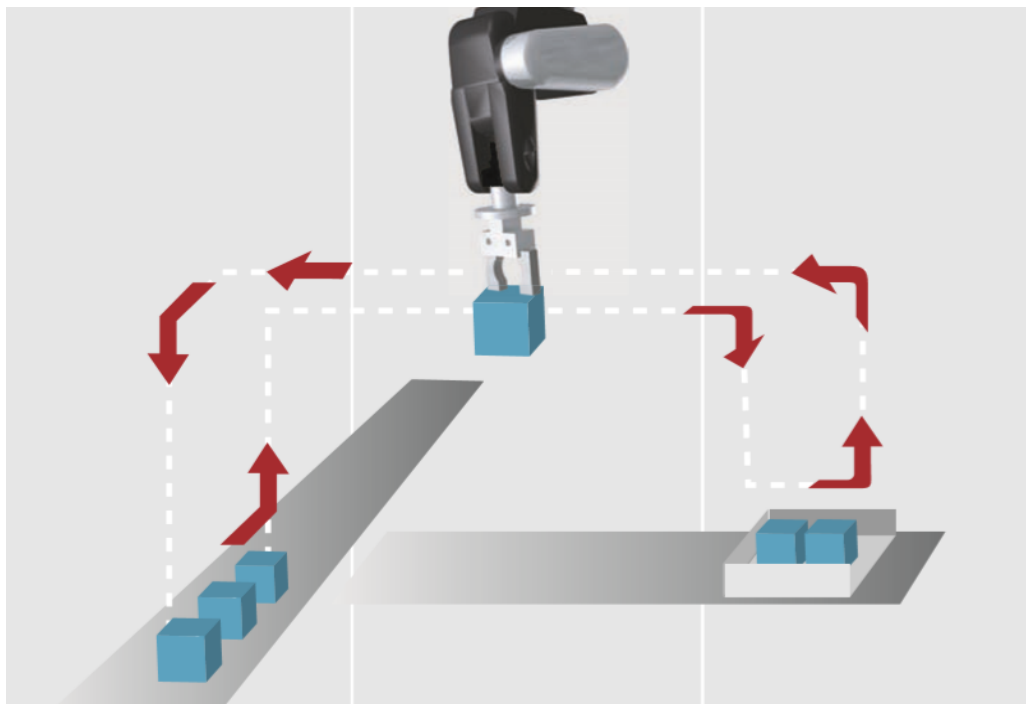
## 6. Uchopovací proces čelistových efektorů

Uchopovací proces bývá velmi často podceňován, jelikož jej jako lidské bytosti považujeme za triviální a přirozený. Při manipulaci pomocí robotického zařízení ale tento proces skrývá určitá úskalí. Tvar úchopných čelistí je závislý zejména na orientaci, tvaru a povrchu objektu manipulace. Při konstrukčním návrhu efektoru nesmíme zapomenout také na velikost síly pro bezpečné uchopení, požadovaná zrychlení a potřebnou přesnost polohování. V následující podkapitole si přiblížíme způsoby, jakými lze tento proces využít a bezpečně uchopit objekt manipulace. [10]

### Představení jednotlivých fází uchopení:

1. **Přiblížení čelistí efektoru k OM.**
2. **Dosažení kontaktu** mezi čelistmi efektoru a OM.
3. **Zvyšování síly** na určitou velikost.
4. **Zabezpečení objektu** pomocí dosažení požadované síly a odebrání stupňů volnosti OM tak, aby se nemohl nezávisle pohybovat vůči čelistem efektoru.
5. **Přemístění OM** je umožněno tím, že předmět a efektor jsou vzájemně propojeny a tvoří jeden celek.
6. **Uvolnění objektu** deaktivací úchopné síly.

**Monitorování** – sledování sil, momentů účinnosti, uchopení pomocí senzorů během celého procesu. [10]



Obr. 6.1. Názorná ukázka procesu uchopení [5]

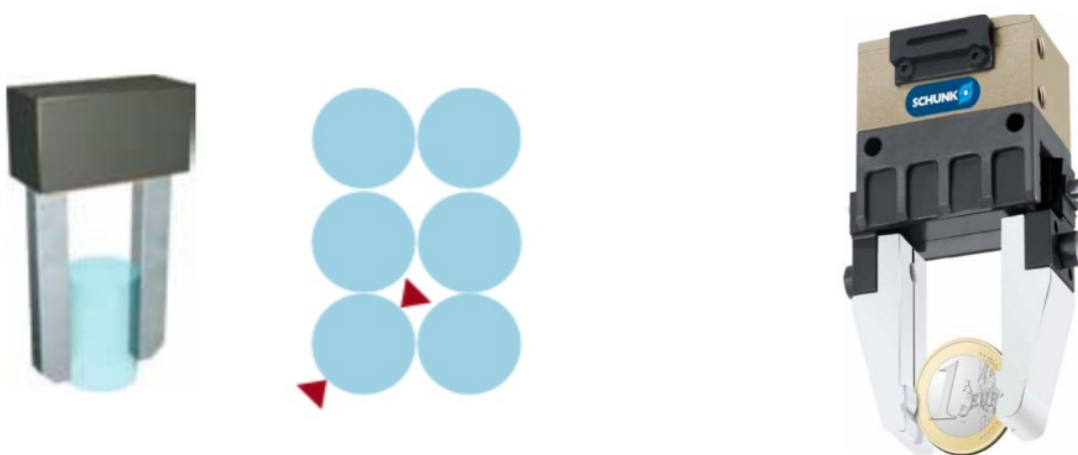
## 6.1 Rozdělení způsobů uchopení součástí s využitím čelistových efektorů

Varianty, jak uchopit požadovaný předmět, jsou závislé nejen na velikosti, tvaru, orientaci objektu manipulace, ale také na volném prostoru okolo OM a požadovaném procesu. V závislosti na těchto parametrech můžeme uchopit předmět čelistovými efektory třemi základními způsoby: [5], [8]

1. Vnější.
2. Vnitřní.
3. Kombinovaným.

### 6.1.1 Vnější způsob uchopení součásti

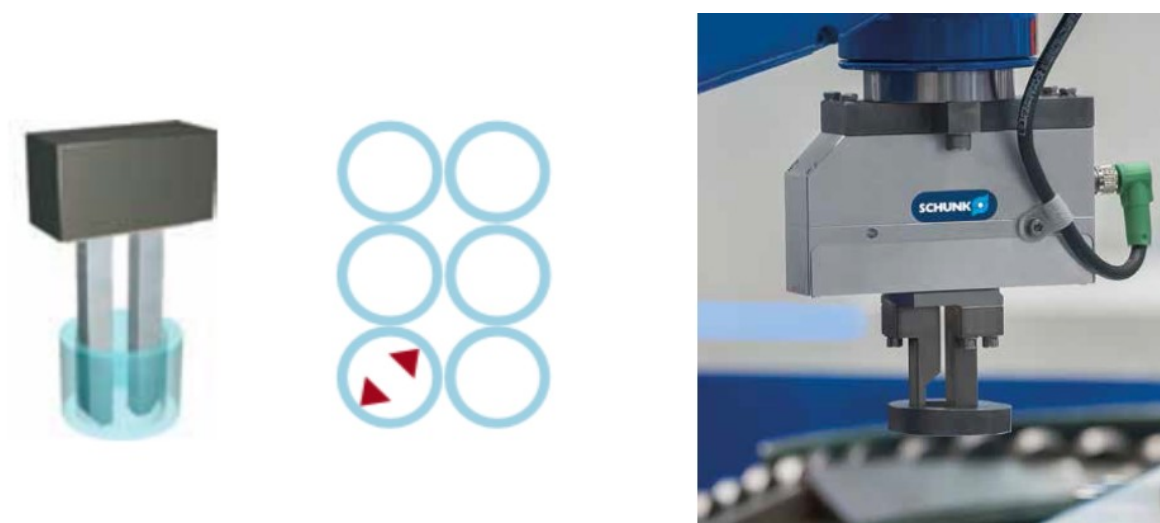
Zevního uchopení předmětu bývá dosaženo pomocí uzavírací úchopné síly, která působí na vnější povrch. Tento typ uchopení součásti je v praxi nejvíce rozšířen, zejména pro možnost obejmutí téměř každého objektu manipulace. K uchopení předmětu dochází s využitím uzavírací úchopné síly. [8]



Obr. 6.2. Schéma uchopení předmětu vnějším způsobem vlevo a vnější uchopení mince efektozem společnosti SCHUNK vpravo [5], [14]

### 6.1.2 Vnitřní způsob uchopení součásti

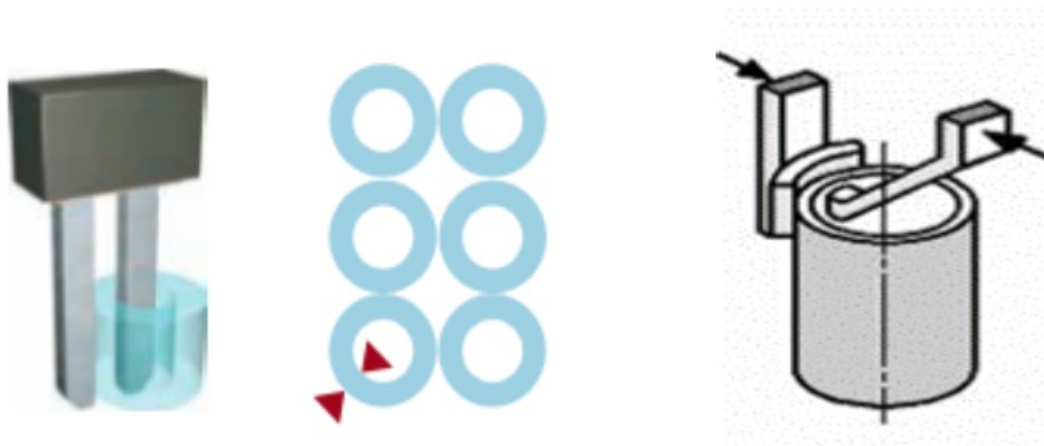
Uchopení předmětu s využitím interních ploch součásti lze využít pouze v případě, že je to tvarem uchopovaného objektu umožněno. Další důvodem, proč tímto způsobem uchopit součást, je potřeba umožnit přístup k zevnímu povrchu objektu manipulace. Uchopení objektu bývá dosaženo pomocí otevírací úchopné síly. [8]



Obr. 6.3. Schéma uchopení předmětu vnitřním způsobem vlevo a vnitřní uchopení kroužku efektozem ze společnosti SCHUNK vpravo [5], [14]

### 6.1.3 Kombinovaný způsob uchopení součásti

Uchopení předmětu s využitím vnější a současně vnitřní plochy součásti. Stejně jako u vnitřního způsobu lze tuto možnost uchopení využít pouze tehdy, je-li to tvarem uchopované součásti umožněno. Uchopení objektu bývá dosaženo pomocí uzavírací úchopné síly. [4], [5]



Obr. 6.4. Schéma uchopení předmětu kombinovaným způsobem s využitím vnějšího povrchu součásti vlevo a kombinované uchopení kroužku prsty efektoru vpravo [4], [5]

## 7. Výběr chapadla z katalogu výrobce

Tato kapitola je zaměřena na konkrétní volbu čelistového efektoru a návrh jeho čelistí. Pro volbu potřebné uchopovací hlavice z katalogu výrobce byl zvolen postup sepsaný do následujících bodů, jehož výstupem byla volba optimální hlavice. Postup při volbě ideální hlavice se skládá z následujících kroků:

- 1.) Definování OM.
- 2.) Definice trajektorie pracovního procesu a manipulačního robotu, či manipulátoru.
- 3.) Určení požadované úchopné síly.
- 4.) Návrh variant efektorů z katalogu výrobce.
- 5.) Návrh čelistí.
- 6.) Porovnání vybraných na efektorů na základě požadavkového listu a volba optimální varianty.

### 7.1 Objekt manipulace

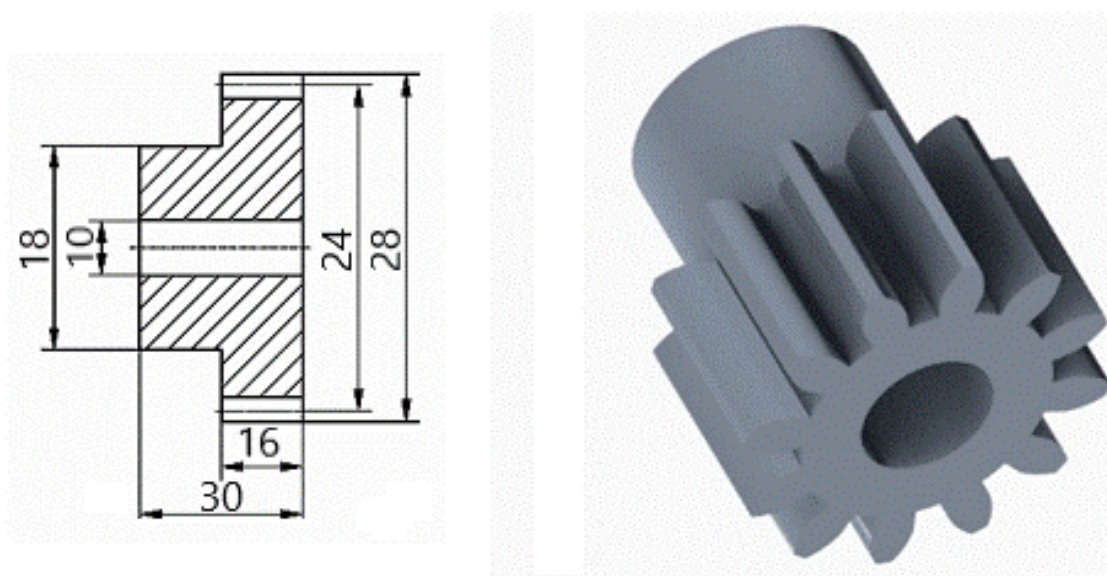
Objektem manipulace je ozubené kolo s nábojem. Součást je ze zušlechtěné oceli. Jedná se o materiál ideální k výrobě strojních součástí, které mají odolávat opotřebení (například ozubená kola, hřídele turbokompresorů). Technické údaje ozubení viz Tab. 7.1. Parametry objektu manipulace Rozměry a vizuální model ozubeného kola viz Obr. 7.1. [30], [31]

Tab. 7.1. Parametry objektu manipulace [30]

Požadavek	Hodnota / Údaj	Jednotka
Rozměry ozubeného kola, které budou sloužit k uchopení. ( $\varnothing D \times \varnothing d \times b$ )	$\varnothing 18 \times \varnothing 10 \times 30$	[mm]
Průměr roztečné kružnice ( $d_a$ )	$\varnothing 24$	[mm]
Modul	2	[mm]
Typ ozubení	Čelní s přímým ozubením	[-]
Úhel záběru	20	[°]
Počet zubů	12	[-]
Hmotnost	0,0640	[kg]
Materiál	12 050	[-]



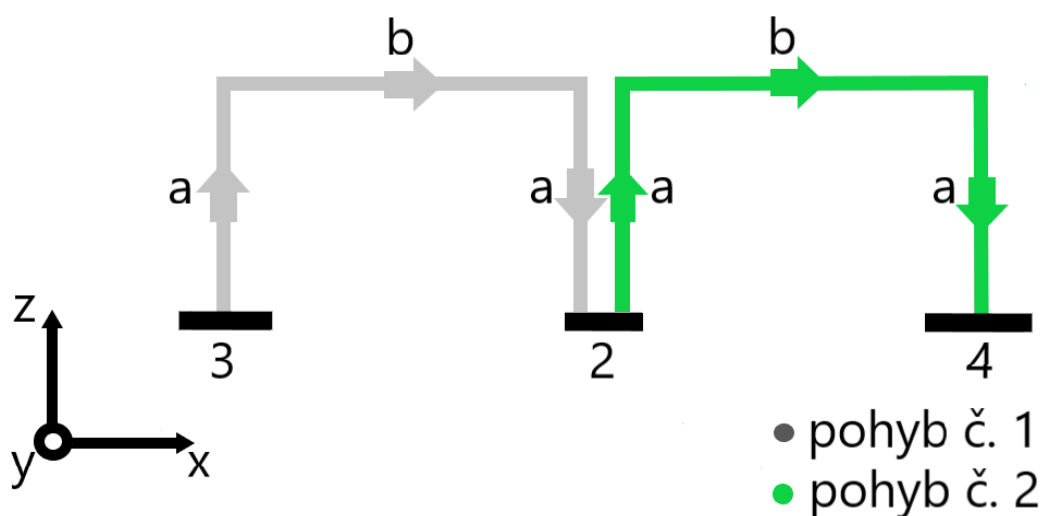
Umístění při uchopení a uvolnění	Osa OM kolmá k podložce	[-]
----------------------------------	-------------------------	-----



Obr. 7.1. Rozměry ozubeného kola s nábojem vlevo a 3D model ozubeného kola vpravo [30]

### 7.1.1 Trajektorie pohybu OM

Pohyb efektoru a OM se skládá ze dvou základních částí. Obě tyto části mají naprosto totožnou délku trajektorie. Každá trajektorie se skládá ze tří pohybů. Počáteční pohyb je uskutečněn do kladných hodnot na ose z, následuje kladný pohyb v ose x a návrat do nulové hodnoty v ose z. Pro dokonalou představu trajektorie viz Obr. 7.2.



Obr. 7.2. Grafické znázornění trajektorie OM

Popis: 2 – sensor snímající tvar a rozměry součásti, 3 – dopravník přinášející součást ke kontrole, 4 – dopravník, který odváží součást po provedené kontrole.

## 7.2 Definice pracovního procesu

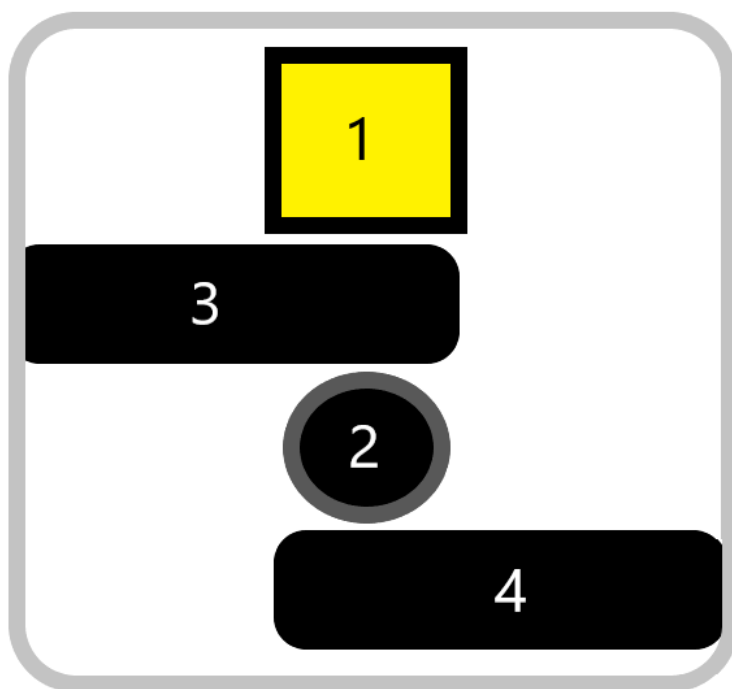
V této kapitole byla popsána pracovní linka, pracovní cyklus, manipulátor a vyhotoven požadavkový list efektoru.

### 7.2.1 Analýza problému

Byla zaměřena na robotickou linku, která provádí kontrolu rozměrů ozubených kol. Vybraná linka se skládá z manipulátoru, sensoru pro kontrolu požadovaných rozměrů a dvou dopravních pásů. Úkolem bylo vybrat vhodný efektor, který lze k vykonání této úlohy použít s definovaným OM.

### 7.2.2 Popis prvků robotické linky

Úkolem robotické linky je provést rozměrovou kontrolu povrchu součásti, která následuje po výrobním procesu ozubených kol. Vybraná linka obsahuje čtyři základní prvky: manipulátor, sensor pro kontrolu požadovaných rozměrů a dva dopravní pásy. Pro názornou představu je schéma linky uvedeno viz Obr. 7.3.

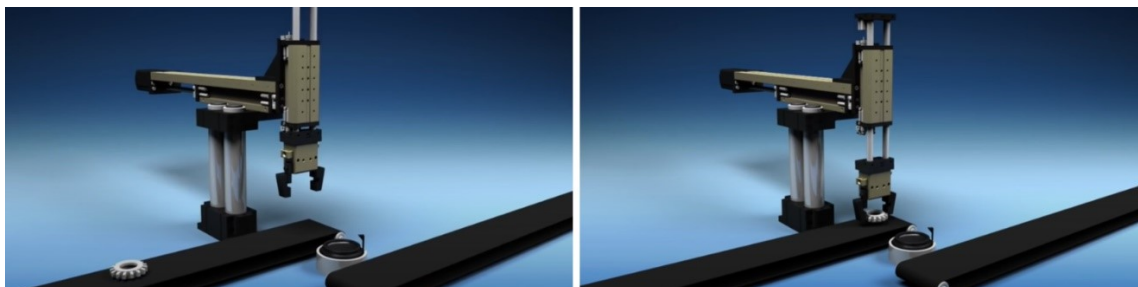


Obr. 7.3. Schématické znázornění robotizované linky

Popis: 1 – manipulátor, 2 – přípravek pro umístění OM a kontrola pomocí sensoru snímající tvar a rozměry součásti, 3 – dopravník přinášející součást ke kontrole, 4 – dopravník odvázející součást po provedené kontrole.

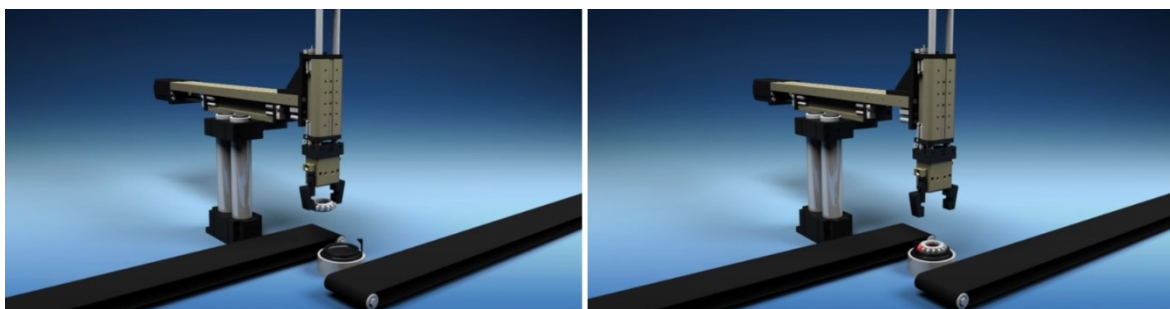
### 7.2.3 Popis pracovního cyklu

Pracovní cyklus robotické linky začíná přivedením ozubeného kola pomocí pásového dopravníku k tělu manipulátoru. Následuje uchopení objektu manipulace pomocí efektoru, který je připevněn na manipulátoru.



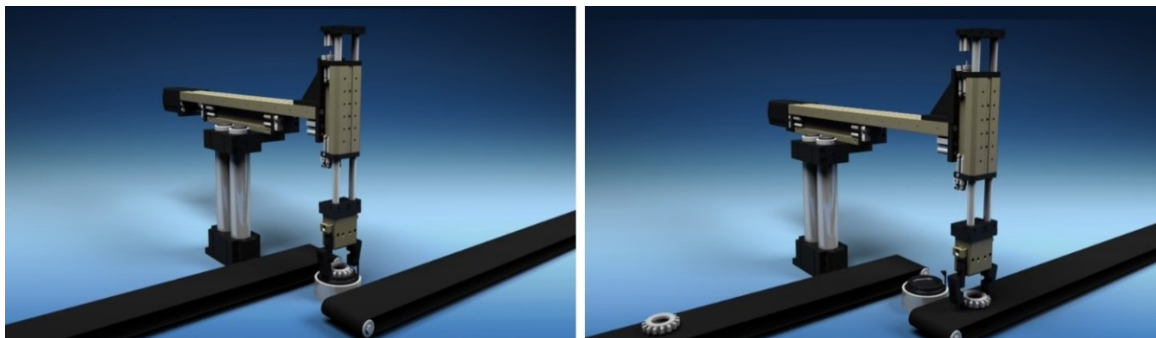
Obr. 7.4. Přivedení objektu manipulace pomocí dopravníku a uchopení předmětu manipulátorem [25]

Poté dochází k umístění objektů na inspekční povrch, kde sensor zkontroluje správnost součásti.



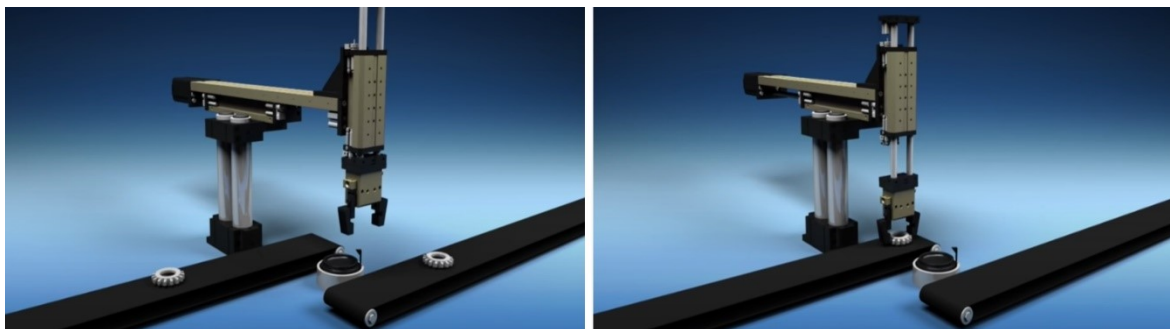
Obr. 7.5. Přemístění a kontrola rozměrů OM [25]

Po kontrole rozměrů robot znovu uchopí součást, zopakuje stejnou trajektorii, avšak přenesou součást na druhý dopravní pás.



Obr. 7.6. Umístění součásti z inspekčního povrchu na dopravník, který jej odváží z pracoviště [25]

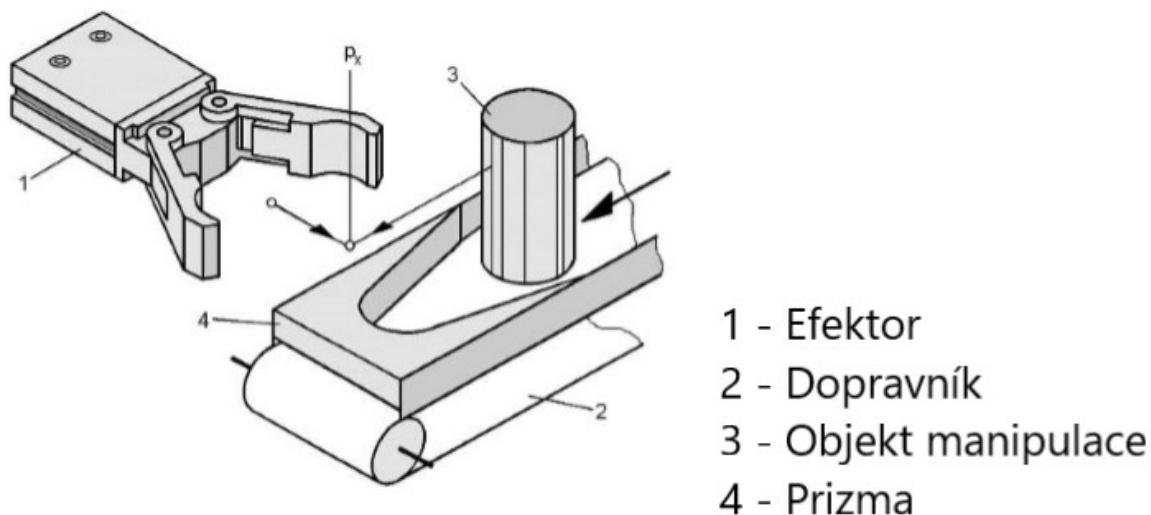
Posledním krokem je odstranění výrobku pomocí pásového dopravníku a přivedení dalšího ozubeného kola na začátek pracovní linky. Následně se celý postup cyklicky opakuje, jelikož manipulátor pracuje v nepřetržitém provozu.



Obr. 7.7. Odstranění zkontrolované součásti, navrácení efektoru do počáteční pozice a opakování cyklu [25]

### 7.2.4 Definování polohy OM

Z důvodu usnadnění uchopení pastorku bylo umístěno na dopravník prizmatické vedení (oObr. 7.8). Toto vedení zajistí, že ozubené kolo přijede po dopravníku a ideálně se srovná do polohy tak, aby jej následně mohl efektor uchopit s přesností v rámci desetin milimetrů.



Obr. 7.8. Definování polohy OM s využitím prizmatického přípravku [4]

### 7.2.5 Technické parametry manipulátoru

Manipulátor je ze série GEMOTEC od společnosti SCHUNK. Technické údaje manipulátoru viz Tab. 7.2. [14]

Tab. 7.2. Parametry manipulátoru [14]

Požadavky manipulátoru	Hodnota / Údaj	Jednotka
Využitý rozsah pohybů manipulátorů	70 x 100 x 70	[mm]
Maximální zatížení v ose Z	3	[kg]
Maximální zatížení v ose X	8	[kg]
Maximální zrychlení v ose Z	43	[m/s <sup>2</sup> ]
Maximální rychlost v ose Z	1,5	[m/s]
Maximální zrychlení v ose X	35	[m/s <sup>2</sup> ]
Maximální rychlost v ose X	1,4	[m/s]
Přesnost polohování	± 0,05	[mm]



Obr. 7.9. Manipulátor Gemotec od společnosti SCHUNK [14]

### 7.2.6 Požadavkový list efektoru

V závislosti na požadované úloze, parametrech objektu manipulace a parametrech manipulátoru byl vytvořen požadavkový list se základními požadavky pro upřesnění kritérií, na které byl brán zřetel při následné volbě efektoru z katalogu výrobce.

Tab. 7.3. Požadavky na efektor

Požadavky efektoru	Hodnota / Údaj	Jednotka
Maximální hmotnost	2,9	[kg]
Pohyb čelistí	lineární posuv	[kg]
Minimální zdvih čelistí	1,5	[mm]
Maximální čas sevření/ otevření čelistí	1	[s]
Materiál prstů	hliník	[-]
Minimální velikost úchopné síly	20	[N]
Schopnost zabezpečit OM při poklesu tlaku	ano	[-]
Rozměry	malé	[mm]
Cena	nízká	[Kč]
Opakovatelná přesnost	vysoká	[mm]

### 7.2.7 Stanovení bezpečnostního faktoru

Bezpečnostní faktor určujeme podle parametrů robotu, či manipulátoru. Například při klasických činnostech zohledňujeme bezpečnost nejméně 2. Při činnostech, kdy robot, či manipulátor používá malá zrychlení i zpomalení a současně je využitý větší počet os, uvažujeme bezpečnost 3. Při činnostech s vysokou akcelerací a současným využitím většího počet os, uvažujeme bezpečnost 4. Pokud robot spolupracuje s člověkem a hrozí vzájemná kolize, můžeme zvolit bezpečnostní faktor 5, ale i vyšší, s ohledem na okolí robotu, které se může objevit v jeho provozním prostoru. [4]

Prostor manipulační linky je ohraničen tak, aby nemohlo dojít k případnému kontaktu mezi člověkem a manipulátorem. Manipulátor využívá k pohybu pouze lineárního posuvu, který je však omezen pouze do dvou os. Využívá však pohybové

jednotky s vysokým zrychlením a zpomalením. S ohledem na tuto skutečnost byla zvolena bezpečnost 2,5.

### 7.2.8 Stanovení koeficientu tření

Manipulace s výrobkem bude probíhat bezprostředně po výrobě ozubení, aniž by došlo k odmaštění výrobku. Z tohoto důvodu je velmi pravděpodobné, že povrch součásti bude mazaný. Výrobek tedy bude mastný. Na základě této skutečnosti bylo počítáno s nejhorší možnou variantou, která během procesu může nastat. Byl zvolen koeficient tření 0,12 (viz Tab. 7.4). [4]

Tab. 7.4. Koeficienty tření pro vybrané materiály [4]

Materiál prstu	Materiál objektu manipulace	
	Ocel	Mazaná ocel
Ocel	0,25	0,15
Mazaná ocel	0,15	0,09
Hliník	0,35	0,21
Mazaný hliník	0,2	0,12

## 8. Varianty řešení

Výběr vhodných variant byl zaměřen na dvě společnosti. V prvních třech variantách byla zvolena společnost SCHUNK a na základě katalogu této firmy vybrány tři varianty efektorů a podrobně charakterizovány. Ve druhé části byl stejný postup opakován s využitím efektorů nabízených společnostmi FESTO. Opět byly vybrány tři varianty a zpracovány.

### 8.1 Varianta č. 1

Výběr první varianty vycházel z myšlenky využít dvoučelistové chapadlo s paralelním pohybem čelistí. Na úvod byla vypočítána potřebná uchopovací síla (Tab. 8.1).

Tab. 8.1. Výpočet úchopné síly pro návrh varianty č. 1 [4]

Vzorec
$F_u = \frac{m_o \cdot g}{n_{\xi} \cdot \mu_{HO}} \cdot \left(1 + \frac{a}{g}\right) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot S$
Kde:
$F_u$ - teoretická síla, kterou musí vyvinout čelisti k uchopení ozubení [N]
$S$ – koeficient bezpečnosti [-]
$a$ – zrychlení manipulátoru [ $m \cdot s^{-2}$ ]
$g$ – tíhové zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ]
$m_o$ - hmotnost ozubeného kola [kg]
$n_{\xi}$ – počet čelistí efektoru [-]
$\alpha$ – úhel tvarového vybrání v prstech [°]
$\mu_{HO}$ – součinitel tření hliník-ocel pro mazaný povrch [-]
Dosazení
$F_u = \frac{0,0640 \cdot 9,8067}{2 \cdot 0,12} \cdot \left(1 + \frac{43}{9,8067}\right) \cdot \sin\left(\frac{90}{2}\right) \cdot 2,5$
Potřebná minimální úchopná síla
$F_u = 24,8933 \text{ [N]}$



Na základě potřebné uchopovací síly 24,9 [N] bylo zvoleno chapadlo MPG plus 16-AS s velikostí zdvihu 1,5 [mm] na jednu čelist. Poté byla provedena kontrola požadovaného zdvihu (Tab. 8.2).

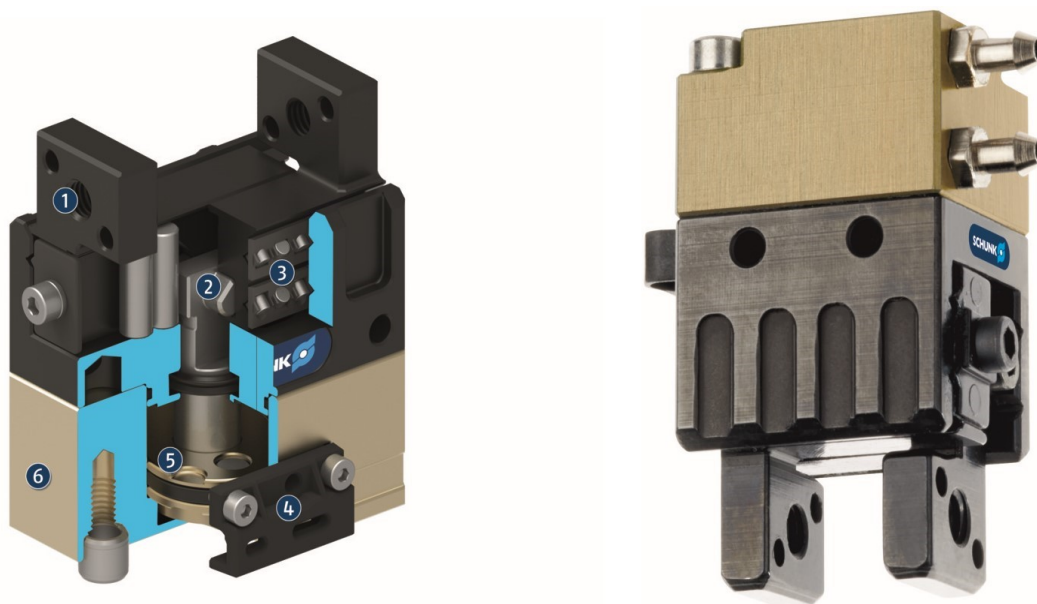
Tab. 8.2 Výpočet minimálního zdvihu čelistí pro návrh varianty č. 1. [4]

Vzorec	Vzorec
$H_{\min} = \frac{0,5 \cdot \Delta S + S_2 + R_2 - R_1}{\sin \frac{\alpha_1}{2}} + S_1$ <p>Kde:</p> <p><math>H_{\min}</math> - minimální zdvih čelisti [mm]</p> <p><math>R_1</math> - minimální velikost poloměru obrobku [mm]</p> <p><math>R_2</math> - maximální velikost poloměru obrobku [mm]</p> <p><math>S_1</math> - upínací přesah [mm]</p> <p><math>S_2</math> - vkládací vůle [mm]</p> <p><math>\alpha_1</math> - poloviční úhel tvarového vybrání v prstech [°]</p> <p><math>\Delta S</math> - odchylka polohy [mm]</p>	$\Delta S = S \cdot \sqrt{\Delta S_{OM}^2 + \Delta S_M^2 + \Delta S_{\zeta}^2}$ <p>Kde:</p> <p><math>S</math> - koeficient bezpečnosti [-]</p> <p><math>\Delta S</math> - odchylka polohy [mm]</p> <p><math>\Delta S_{\zeta}</math> - maximální odchylka polohy čelisti úchopného zařízení způsobená výrobními tolerancemi [mm]</p> <p><math>\Delta S_M</math> - maximální odchylka polohy manipulátoru [mm]</p> <p><math>\Delta S_{OM}</math> - maximální odchylka polohy OM [mm]</p>
Dosazení	Dosazení
$H_{\min} = \frac{0,5 \cdot 0,4062 + 0,5 + 18 - 18}{\sin 45} + 0,5$	$\Delta S = 2,5 \cdot \sqrt{0,1^2 + 0,1^2 + 0,08^2}$
Potřebný minimální zdvih jedné čelisti	Odchylka polohy
$H_{\min} = 1,4943 \text{ [mm]}$	$\Delta S = 0,4062 \text{ [mm]}$

Zdvih čelisti vybrané hlavice je vyšší než minimální potřebný zdvih určený výpočtem. Chapadlo MPG plus 16-AS tedy vyhovuje.

Skupina MPG od společnosti SCHUNK je uzpůsobena pro manipulaci s malými komponenty. Označení 16 značí velikostní třídu efektoru. Verze AS umožňuje zajištění minimální úchopné síly i v případě poklesu tlaku. Chapadlo využívá pneumatického pohonu. Ke spouštění využívá přefiltrovaného stlačeného vzduchu dle ISO8573-1:2010 [7:4:4]. Materiál krytu je vyroben z hliníkové slitiny. Krycí materiál krytu a základní čelist jsou vyrobeny z oceli. Pro umožnění synchronizovaného pohybu čelistí se využívá

vysouvání a zasouvání pístu pomocí stlačeného vzduchu, přičemž aby docházelo k otevírání a zavírání čelistí, je potřeba pohyb pístu přeměnit pomocí bočních háků. Důležitým prvkem konstrukce je také základní čelist, která umožňuje připojení konstrukčně uzpůsobeného prstu pro konkrétní tvar součásti. Efektor se vyznačuje při své hmotnosti 25 [g] uzavírací silou 39 [N] a zdvihem 1,5 [mm] na jednu čelist. Cena efektoru je 9 502 Kč včetně DPH. [14]



Obr. 8.1. Konstrukce chapadla MPG-plus 16-AS [14]

Popis: 1 – základní čelist, 2 – klínový hák, 3 – vedení křížové kladky, 4 – systém čidel, 5 – pohon, 6 – pouzdro.

Tab. 8.3 Technické parametry efektoru MPG plus 16-AS. [14]

Požadavek	Hodnota / Údaj	Jednotka
Zdvih na jednu čelist	1,5	[mm]
Zavírací síla	39	[N]
Hmotnost	0,025	[kg]
Provozní tlak	6	[bar]
Doba otevření čelistí	0,011	[s]
Doba sevření čelistí	0,015	[s]
Maximální délka prstu	20	[mm]
Maximální hmotnost prstu	0,01	[kg]
Minimální teplota okolí	5	[°C]

Maximální teplota okolí	90	[°C]
Opakovatelná přesnost	0,02	[mm]
Rozměry efektoru (a x b x c)	16 x 13 x 27	[mm]

### 8.1.1 Návrh prstů pro MPG plus 16-AS

Prsty jsou z hliníkového materiálu AlMgSi0,7. Polotovár bude zakoupen od společnosti Feropol a následně s využitím frézy upraven do požadované podoby. Zkonstruované prsty mají délku 20 [mm] a hmotnost 0,004 [kg]. Velikost úhlu prizmatu je 90 [°]. Ustanovení do ideální polohy je zajištěno pomocí 4 centrovacích kolíků o průměru  $\varnothing 1,5$  [mm]. Připevnění k čelisti je dosaženo pomocí lícovaného šroubu M3. Vizuální podoba čelistí viz Obr. 8.2. Jelikož se velikost úchopné síly mění v závislosti na délce prstu, nebo-li velikosti ramene páky, byla provedena kontrola podle katalogu výrobce. Dle grafu uvedeném v katalogu se hodnota uchopovací síly, kterou je efektor schopen vyvinout při délce prstu 20 [mm] a provozním tlaku 6 [barů], rovná velikosti úchopné síly 31 [N]. Uchopná síla efektoru je vyšší než uchopná síla zjištěná výpočtem, paralelní chapadlo tudíž vyhovuje. [14],[32]



Obr. 8.2. Ukázka uchopení OM pomocí efektoru MPG-plus 16-AS s navrhnutými prizmatickými čelistmi vlevo a detail prstu pro paralelní efektor MPG-plus 16-AS vpravo

## 8.2 Varianta č. 2

Výběr druhé varianty byl zaměřen na chapadlo, které umožní součást uchopit stejně tak, jako tomu bylo u varianty č. 1 s využitím vnějšího povrchu součásti. Avšak efektor č. 2 využívá na rozdíl od předchozí varianty k uchopení předmětu třech čelistí se středícím lineárním pohybem. Nejdříve byla vypočítána potřebná uchopovací síla pro tříčelistový paralelní efektor (Tab. 8.4) a hodnota minimálního požadovaného zdvihu jedné čelisti (Tab. 8.5). [14]

Tab. 8.4. Výpočet úchopné síly pro návrh varianty č. 2 [4]

Vzorec
$F_u = \frac{m_o \cdot g}{n_{\xi} \cdot \mu_{HO}} \cdot \left(1 + \frac{a}{g}\right) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot S$
<p>Kde:</p> <p><math>F_u</math> - teoretická síla, kterou musí vyvinout čelisti k uchopení ozubení [N]</p> <p><math>S</math> – koeficient bezpečnosti [-]</p> <p><math>a</math> – zrychlení manipulátoru [<math>m \cdot s^{-2}</math>]</p> <p><math>g</math> – tíhové zrychlení [<math>m \cdot s^{-2}</math>]</p> <p><math>m_o</math> - hmotnost ozubeného kola [kg]</p> <p><math>n_{\xi}</math> – počet čelistí efektoru [-]</p> <p><math>\alpha</math> – úhel tvarového vybrání v prstech [<math>^{\circ}</math>]</p> <p><math>\mu_{HO}</math> – součinitel tření hliník-ocel pro mazaný povrch [-]</p>
Dosazení
$F_u = \frac{0,0640 \cdot 9,8067}{3 \cdot 0,12} \cdot \left(1 + \frac{43}{9,8067}\right) \cdot \sin\left(\frac{120}{2}\right) \cdot 2,5$
Potřebná minimální úchopná síla
$F_u = 20,3253 \text{ [N]}$

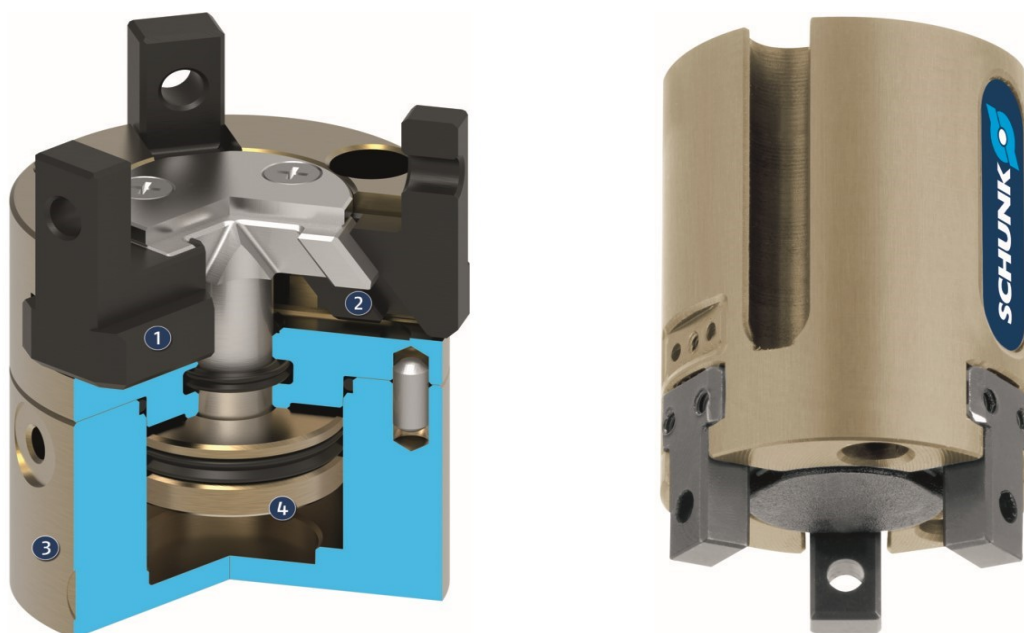
Na základě potřebné uchopovací síly 20,3 [N] bylo zvoleno chapadlo MPZ 20 - AS s velikostí zdvihu 1,5 [mm] na jednu čelist. Poté byla provedena kontrola požadovaného zdvihu ( Tab. 8.5).

Tab. 8.5. Výpočet minimálního zdvihu čelistí pro návrh varianty č. 2 [4]

Vzorec	Vzorec
$H_{\min} = \frac{0.5 \cdot \Delta S + S_2 + R_2 - R_1}{\sin \alpha_{\frac{1}{2}}} + S_1$ <p>Kde:</p> <p><math>H_{\min}</math> - minimální zdvih čelisti [mm]</p> <p><math>R_1</math> - minimální velikost poloměru obrobku [mm]</p> <p><math>R_2</math> - maximální velikost poloměru obrobku [mm]</p> <p><math>S_1</math> - upínací přesah [mm]</p> <p><math>S_2</math> - vkládací vůle [mm]</p> <p><math>\alpha_{\frac{1}{2}}</math> - poloviční úhel tvarového vybrání v prstech [°]</p> <p><math>\Delta S</math> - odchylka polohy [mm]</p>	$\Delta S = S \cdot \sqrt{\Delta S_{OM}^2 + \Delta S_M^2 + \Delta S_{\zeta}^2}$ <p>Kde:</p> <p><math>S</math> – koeficient bezpečnosti [-]</p> <p><math>\Delta S</math> – odchylka polohy [mm]</p> <p><math>\Delta S_{\zeta}</math> - maximální odchylka polohy čelisti úchopného zařízení způsobená výrobními tolerancemi [mm]</p> <p><math>\Delta S_M</math> - maximální odchylka polohy manipulátoru [mm]</p> <p><math>\Delta S_{OM}</math> – maximální odchylka polohy OM [mm]</p>
Dosazení	Dosazení
$H_{\min} = \frac{0.5 \cdot 0,6964 + 0,5 + 18 - 18}{\sin 60} + 0,5$	$\Delta S = 2,5 \cdot \sqrt{0,1^2 + 0,1^2 + 0,24^2}$
Potřebný minimální zdvih jedné čelisti	Odchylka polohy
$H_{\min} = 1,4794$ [mm]	$\Delta S = 0,6964$ [mm]

Zdvih jedné čelisti vybrané hlavice je vyšší než minimální potřebný zdvih určený výpočtem. Chapadlo MPZ 20 - AS tedy vyhovuje.

Skupina MPZ od společnosti SCHUNK je ideální pro manipulaci s komponenty drobných rozměrů. Označení 20 určuje velikost hlavice, která je o třídu větší než u varianty č.1. Toto zařízení umožňuje zajištění minimální úchopné síly i v případě poklesu tlaku. Synchronizovaný pohyb čelistí je stejně jako u varianty č. 1 umožněn pomocí pístu a klínového háku. Materiál krytu je vyroben z hliníkové slitiny a krycí materiál krytu a základní čelist jsou vyrobeny z oceli, rovněž jako u varianty č. 1. Efektor se vyznačuje při své hmotnosti 30 [g] uzavírací silou 44 [N] a zdvihem 1,5 [mm] na jednu čelist. Cena efektoru je 13 482 Kč včetně DPH. Konstrukce hlavice viz Obr. 8.3. [14]



Obr. 8.3. Konstrukce chapadla MPZ 20-AS [14]

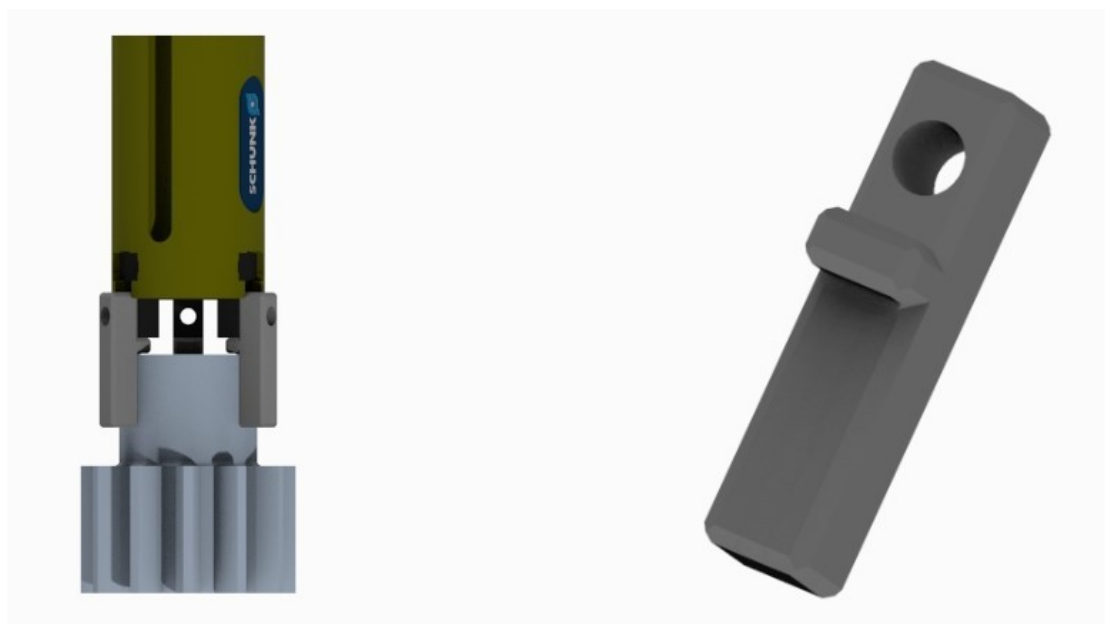
1 – posuvné vedení čelistí, 2 – klínový hák, 3 – pouzdro, 4 – pohon.

Tab. 8.6. Technické parametry efektoru MPZ 20-AS [14]

Technické údaje efektoru	Hodnota / Údaj	Jednotka
Zdvih na jednu čelist	1,5	[mm]
Zavírací síla	44	[N]
Hmotnost	0,03	[kg]
Provozní tlak	6	[bar]
Doba otevření čelistí	0,02	[s]
Doba sevření čelistí	0,04	[s]
Maximální délka prstu	20	[mm]
Maximální hmotnost prstu	0,03	[kg]
Minimální teplota okolí	5	[°C]
Maximální teplota okolí	90	[°C]
Opakovatelná přesnost	0,01	[mm]
Rozměry efektoru (ød x v)	ø20 x 33	[mm]

### 8.2.1 Návrh prstů pro MPZ 20-AS

Prsty jsou z hliníkového materiálu  $AlMgSi0,7$ . Polotovár bude zakoupen od společnosti Feropol a následně s využitím frézy upraven do požadované podoby. Na rozdíl od varianty č. 1 mají prsty o 5 [mm] kratší délku, konkrétně 15 [mm], a hmotnost 0,001 [kg]. Uchopovací plochy jsou řešeny cylindricky tak, aby ideálně objaly náboj ozubeného kola. Průměr cylindru je 18 [mm]. Ustanovení do ideální polohy je zajištěno s využitím tvaru prstu. Připevnění k čelisti je dosaženo pomocí lícovaného šroubu M3. Názorná ukázka viz Obr. 8.4. Z důvodů snížení velikosti úchopné síly v závislosti na délce prstu, nebo-li velikosti ramene páky, byla provedena kontrola podle katalogu výrobce. Dle grafu uvedeném v katalogu se hodnota uchopovací síly, kterou je efektor schopen vyvinout při délce prstu 17 [mm] a provozním tlaku 6 [barů], rovná velikosti úchopné síly 22 [N]. Uchopná síla efektoru je vyšší než uchopná síla zjištěná výpočtem, paralelní chapadlo tudíž vyhovuje. [14], [32]



Obr. 8.4. Ukázka uchopení OM pomocí efektoru MPZ 20-AS s navrhnutými cylindrickými čelistmi vlevo a detail prstu pro paralelní efektor MPZ 20-AS vpravo [14]

### 8.3 Varianta č. 3

Tato varianta se liší od předchozích variant způsobem uchopení OM. Stejně jako u varianty č. 1 bylo použito dvoučelistové chapadlo s paralelním posuvem. V tomto případě bylo využito vnitřního povrchu ozubeného kola. Pro variantu č. 3 byl rovněž proveden výpočet úchopné síly (Tab. 8.7). [14]

Tab. 8.7. Výpočet úchopné síly pro návrh varianty č. 3 [4]

Vzorec
$F_u = \frac{m_o \cdot g}{n_{\xi} \cdot \mu_{HO}} \cdot \left(1 + \frac{a}{g}\right) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot S$
Kde:
$F_u$ - teoretická síla, kterou musí vyvinout čelisti k uchopení ozubení [N]
$S$ – koeficient bezpečnosti [-]
$a$ – zrychlení manipulátoru [ $m \cdot s^{-2}$ ]
$g$ – tíhové zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ]
$m_o$ - hmotnost ozubeného kola [kg]
$n_{\xi}$ – počet čelistí efektoru [-]
$\alpha$ – úhel tvarového vybrání v prstech [°]
$\mu_{HO}$ – součinitel tření hliník-ocel pro mazaný povrch [-]
Dosažení
$F_u = \frac{0,0640 \cdot 9,8067}{2 \cdot 0,12} \cdot \left(1 + \frac{43}{9,8067}\right) \cdot \sin\left(\frac{180}{2}\right) \cdot 2,5$
Potřebná minimální úchopná síla
$F_u = 35,2045$ [N]

Na základě potřebné uchopovací síly 35,2 [N] bylo zvoleno chapadlo MPZ 20 - AS s velikostí zdvihu 3 [mm] na jednu čelist. Poté byla provedena kontrola požadovaného zdvihu (Tab. 8.8).

Tab. 8.8. Výpočet minimálního zdvihu čelistí pro návrh varianty č. 3 [4]

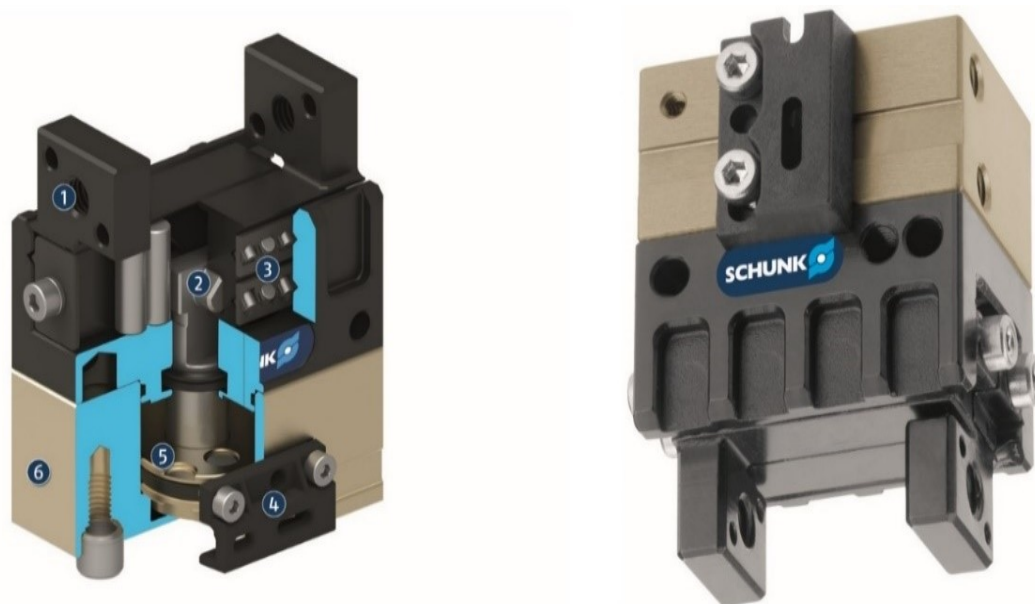
Vzorec	Vzorec
$H_{\min} = \frac{0,5 \cdot \Delta S + S_2 + R_2 - R_1}{\sin \frac{\alpha_1}{2}} + S_1$	$\Delta S = S \cdot \sqrt{\Delta S_{OM}^2 + \Delta S_M^2 + \Delta S_{\xi}^2}$
Kde:	Kde:
$H_{\min}$ - minimální zdvih čelisti [mm]	$S$ – koeficient bezpečnosti [-]
$R_1$ – minimální velikost poloměru obrobku [mm]	$\Delta S$ – odchylka polohy [mm]
$R_2$ – maximální velikost poloměru	$\Delta S_{\xi}$ - maximální odchylka polohy čelisti úchopného zařízení způsobená výrobními



obrobku [mm]	tolerancemi [mm]
$S_1$ – upínací přesah [mm]	$\Delta S_M$ – maximální odchylka polohy manipulátoru [mm]
$S_2$ – vkládací vůle [mm]	$\Delta S_{OM}$ – maximální odchylka polohy OM [mm]
$\alpha_{\frac{1}{2}}$ – poloviční úhel tvarového vybrání v prstech [°]	
$\Delta S$ – odchylka polohy [mm]	
Dosazení	Dosazení
$H_{\min} = \frac{0,5 \cdot 0,4062 + 0,5 + 10 - 10}{\sin 90} + 0,5$	$\Delta S = 2,5 \cdot \sqrt{0,1^2 + 0,1^2 + 0,08^2}$
Potřebný minimální zdvih jedné čelisti	Odchylka polohy
$H_{\min} = 1,2031$ [mm]	$\Delta S = 0,4062$ [mm]

Zdvih jedné čelisti vybrané hlavice je vyšší než minimální potřebný zdvih určený výpočtem. Chapadlo MPG-plus 25-IS tedy vyhovuje.

Skupina MPG byla využita již při výběru první varianty, v této variantě bylo ovšem zvoleno chapadlo o dvě velikostní třídy vyšší v závislosti na potřebě vyvinutí vyšší úchopné síly. Efektor se řadí do velikostní třídy 25. Dalším rozdílem oproti předchozím řešením je uzpůsobení chapadla pro uchopení součásti pomocí otevírací síly. Označení IS značí, že chapadlo umožňuje udržování úchopné síly i v případě poklesu tlaku. Toto chapadlo stejně jako předchozí varianty využívá pneumatického pohonu. Synchronizovaný pohyb čelistí je stejně jako u předchozích variant umožněn využitím pístu a klínového háku. Efektor se vyznačuje při své hmotnosti 70 g otevírací silou 44 N a zdvihem 3 mm na jednu čelist. Cena efektoru je 10 120 Kč včetně DPH. Konstrukce tohoto efektoru je znázorněna na Obr. 8.5. [14]



Obr. 8.5. Konstrukce chapadla MPG-plus 25-IS [14]

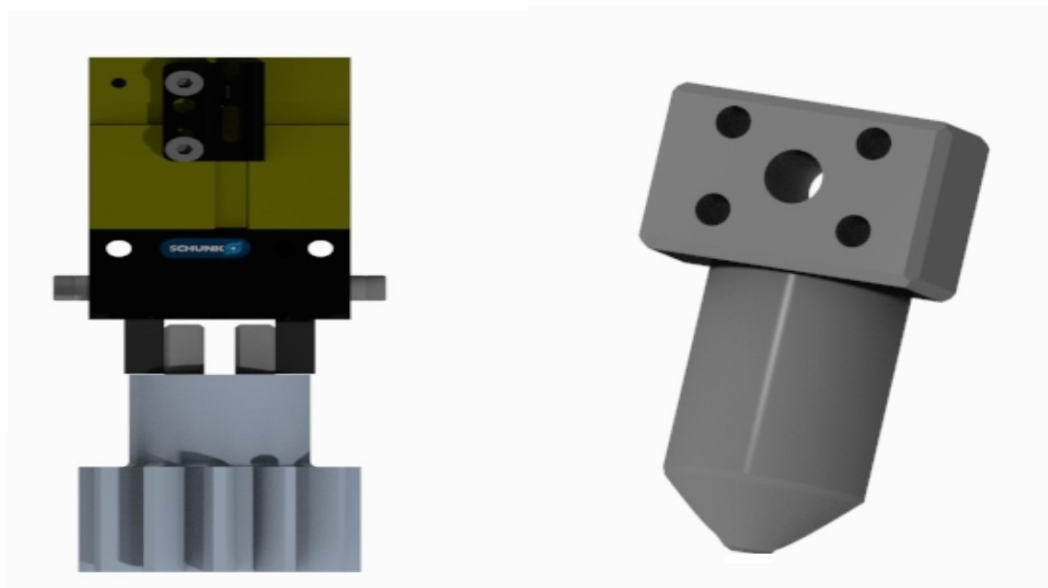
Popis: 1 – základní čelist, 2 – klínový hák, 3 – vedení křížové kladky, 4 – systém čidel, 5 – pohon, 6 – pouzdro.

Tab. 8.9. Technické parametry efektoru MPG plus 25-IS [14]

Technické údaje efektoru	Hodnota / Údaj	Jednotka
Zdvih na jednu čelist	3	[mm]
Otevírací síla	44	[N]
Hmotnost	0,07	[kg]
Provozní tlak	6	[bar]
Doba otevření čelistí	0,033	[s]
Doba sevření čelistí	0,017	[s]
Maximální délka prstu	32	[mm]
Maximální hmotnost prstu	0,02	[kg]
Minimální teplota okolí	5	[°C]
Maximální teplota okolí	90	[°C]
Opakovatelná přesnost	0,02	[mm]
Rozměry efektoru (a x b x c)	26 x 18 x 39,8	[mm]

### 8.3.1 Návrh prstů pro MPG plus 25-IS

Prsty jsou z hliníkového materiálu AlMgSi0,7. Polotovár bude zakoupen od společnosti Feropol a následně s využitím frézy upraven do požadované podoby. Výsledný prst má délku 20 [mm], hmotnost 0,002 [kg]. Průměr cylindru je 9 [mm]. Ustanovení do ideální polohy je zajištěno pomocí 4 centrovacích kolíků o průměru  $\varnothing 1,5$  [mm]. Připevnění k čelisti je dosaženo pomocí lícovaného šroubu M3. Dle provedené kontroly podle katalogu výrobce se hodnota uchopovací síly, kterou je efektor schopen vyvinout při délce prstu 20 [mm] a provozním tlaku 6 [barů], rovná hodnotě 41 [N], takže toto řešení je využitelné. Vizuální podoba čelistí viz Obr. 8.6. [14], [32]



Obr. 8.6. Ukázka uchopení OM pomocí efektoru MPG plus 25-IS s navrhnutými cylindrickými čelistmi vlevo a detail prstu pro paralelní efektor MPG plus 25-IS vpravo

## 8.4 Varianta č. 4

Výběr čtvrté varianty vycházel z návrhu využít chapadlo s paralelním pohybem čelistí. Tentokrát byla použita nabídka efektorů od společnosti FESTO. Potřebná úchopná síla byla vypočítána u varianty č. 1, tedy potřebná uchopovací síla. Pro přehlednost hodnota potřebné minimální úchopné síly viz Tab. 8.10. [15]

Tab. 8.10. Velikost úchopné síly pro návrh varianty č. 4

Potřebná minimální úchopná síla
$F_u = 24,8933$ [N]

Na základě potřebné uchopovací síly [N] bylo zvoleno chapadlo DHPS-10-A-NC s velikostí zdvihu 3 [mm] na jednu čelist. Poté byla provedena kontrola požadovaného zdvihu (Tab. 8.11). [15]

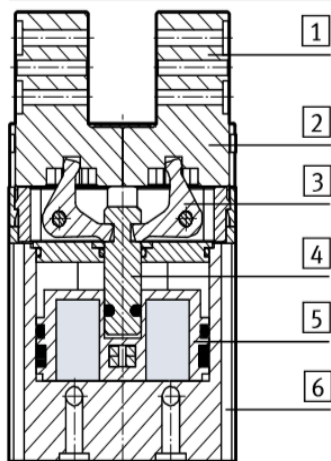
Tab. 8.11. Výpočet minimálního zdvihu čelistí pro návrh varianty č. 4 [4]

Vzorec	Vzorec
$H_{\min} = \frac{0,5 \cdot \Delta S + S_2 + R_2 - R_1}{\sin \frac{\alpha_1}{2}} + S_1$ <p>Kde:</p> <p><math>H_{\min}</math> - minimální zdvih čelisti [mm]</p> <p><math>R_1</math> - minimální velikost poloměru obrobku [mm]</p> <p><math>R_2</math> - maximální velikost poloměru obrobku [mm]</p> <p><math>S_1</math> - upínací přesah [mm]</p> <p><math>S_2</math> - vkládací vůle [mm]</p> <p><math>\alpha_1</math> - poloviční úhel tvarového vybrání v prstech [°]</p> <p><math>\Delta S</math> - odchylka polohy [mm]</p>	$\Delta S = S \cdot \sqrt{\Delta S_{OM}^2 + \Delta S_M^2 + \Delta S_{\zeta}^2}$ <p>Kde:</p> <p><math>S</math> - koeficient bezpečnosti [-]</p> <p><math>\Delta S</math> - odchylka polohy [mm]</p> <p><math>\Delta S_{\zeta}</math> - maximální odchylka polohy čelisti úchopného zařízení způsobená výrobními tolerancemi [mm]</p> <p><math>\Delta S_M</math> - maximální odchylka polohy manipulátoru [mm]</p> <p><math>\Delta S_{OM}</math> - maximální odchylka polohy OM [mm]</p>
Dosazení	Dosazení
$H_{\min} = \frac{0,5 \cdot 0,4330 + 0,5 + 18 - 18}{\sin 45} + 0,5$	$\Delta S = 2,5 \cdot \sqrt{0,1^2 + 0,1^2 + 0,1^2}$
Potřebný minimální zdvih jedné čelisti	Odchylka polohy
$H_{\min} = 1,5133$ [mm]	$\Delta S = 0,4330$ [mm]

Zdvih čelisti vybrané hlavice je vyšší než minimální potřebný zdvih určený výpočtem. Chapadlo DHPS-10-A-NC tedy vyhovuje.

Označení 10 značí velikost efektoru. Verze A umožňuje snímání poloh a označení NC značí zajištění úchopné síly i v případě poklesu tlaku. Chapadlo využívá pneumatického pohonu. Ke spouštění využívá hlavice přefiltrovaného stlačeného vzduchu dle ISO8573-1:2010 [7:4:4]. Materiál krytu je z polyamidu. Těleso je z hliníkového materiálu legovaného pro tváření a základní čelisti jsou vyrobeny z vysoce legované nerezové oceli. Pro umožnění synchronizovaného pohybu čelistí se využívá vysouvání a zasouvání pístu

pomocí stlačeného vzduchu, přičemž aby docházelo k otevírání a zavírání čelistí, je potřeba pohyb pístu přeměnit pomocí převodní páky. Efektor se vyznačuje při své hmotnosti 68 [g] uzavírací silou 34,4 [N] a zdvihem 3 [mm] na jednu čelist. Cena efektoru je 12498 Kč včetně DPH. [15]



Obr. 8.7. Konstrukce chapadla DHPS-10-A-NC [15]

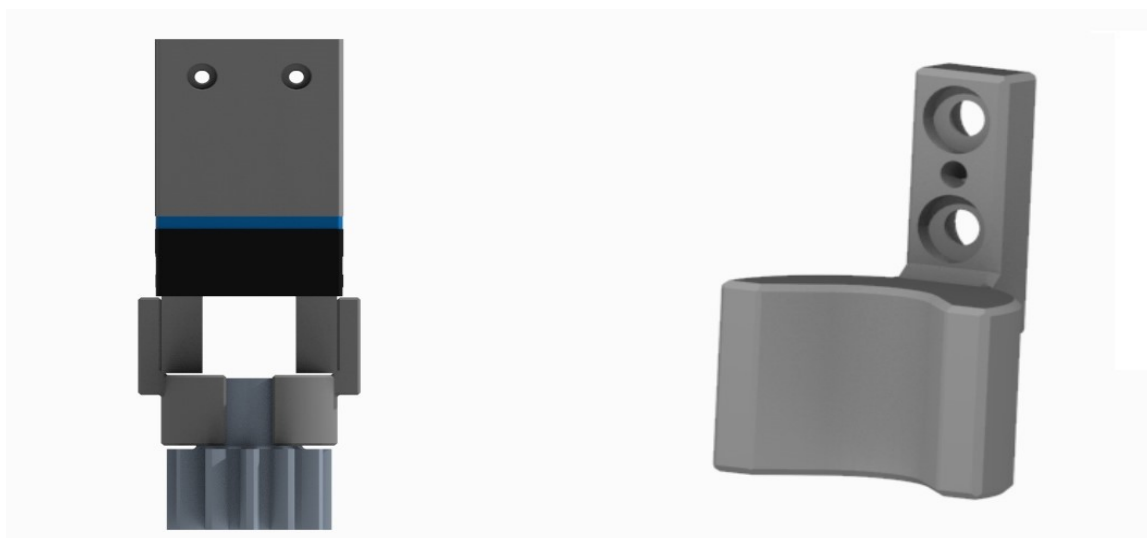
Popis: 1 – čelist, 2 – záslepka, 3 – převodní páka, 4 – pístnice, 5 – píst, 6 – těleso.

Tab. 8.12. Technické parametry efektoru DHPS-10-A-NC [15]

Požadavek	Hodnota / Údaj	Jednotka
Zdvih na jednu čelist	3	[mm]
Zavírací síla	34,5	[N]
Hmotnost	0,068	[kg]
Provozní tlak	6	[bar]
Doba otevření čelistí	0,017	[s]
Doba sevření čelistí	0,042	[s]
Maximální délka prstu	45	[mm]
Maximální hmotnost prstu	0,06	[kg]
Minimální teplota okolí	5	[°C]
Maximální teplota okolí	60	[°C]
Opakovatelná přesnost	0,02	[mm]
Maximální rozměry (a x b x c)	32 x 15,5 x 66	[mm]

#### 8.4.1 Návrh prstů pro DHPS-10-A-NC

Prsty jsou z hliníkového materiálu AlMgSi0,7. Polotovár bude zakoupen od společnosti Feropol a následně s využitím frézy upraven do požadované podoby. Vyrobené prsty mají délku 30 [mm] a hmotnost 0,006 [kg]. Velikost úhlu prizmatu je 90 [°]. Ustanovení do ideální polohy je zajištěno pomocí 2 středících dutinek ZBH-5 a středícího kolíku o průměru  $\varnothing 2$  [mm]. Připevnění k čelisti je dosaženo pomocí šroubů DIN 912 M2,5. Vizuální podoba čelistí viz Obr. 8.8. Jelikož se velikost úchopné síly mění v závislosti na délce prstu, nebo-li velikosti ramene páky, byla provedena kontrola podle katalogu výrobce. Dle grafu uvedeném v katalogu se hodnota uchopovací síly, kterou je efektor schopen vyvinout při délce prstu 30 [mm] a provozním tlaku 6 [barů], rovná velikosti úchopné síly 25 [N]. Uchopná síla efektoru je vyšší než uchopná síla zjištěná výpočtem, paralelní chapadlo tudíž vyhovuje. [15], [32]



Obr. 8.8. Ukázka uchopení OM pomocí efektoru DHPS-10-A-NC s navrhnutými cylindrickými čelistmi vlevo a detail prstu pro paralelní efektor DHPS-10-A-NC vpravo [15]

### 8.5 Varianta č. 5

Výběr druhé varianty byl zaměřen na chapadlo, které umožní součást uchopit stejně tak, jako u varianty č. 4 s využitím vnějšího povrchu součásti. Efektor č. 5 využívá k uchopení předmětu třech čelistí se středícím pohybem jako u varianty č. 2. Potřebná úchopná síla byla vypočítána u varianty č. 2, tedy potřebná uchopovací síla (Tab. 8.4). Pro přehlednost hodnota potřebné minimální úchopné síly viz Tab. 8.13.

Tab. 8.13. Velikost úchopné síly pro návrh varianty č. 5 [4]

Potřebná minimální úchopná síla
$F_u = 20,3253 \text{ [N]}$

Na základě potřebné uchopovací síly 20,3 [N] bylo zvoleno chapadlo DHDS-16-A-NC s velikostí zdvihu 2,5 [mm] na jednu čelist. Poté byla provedena kontrola požadovaného zdvihu viz Tab. 8.14. [15]

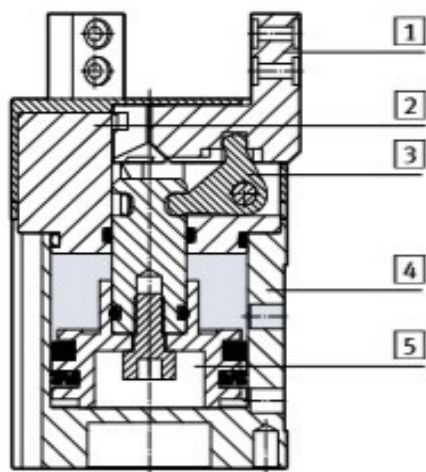
Tab. 8.14. Výpočet minimálního zdvihu čelistí pro návrh varianty č. 5 [4]

Vzorec	Vzorec
$H_{\min} = \frac{0,5 \cdot \Delta S + S_2 + R_2 - R_1}{\sin \frac{\alpha_1}{2}} + S_1$	$\Delta S = S \cdot \sqrt{\Delta S_{OM}^2 + \Delta S_M^2 + \Delta S_{\zeta}^2}$
Kde:	Kde:
$H_{\min}$ - minimální zdvih čelisti [mm]	$S$ – koeficient bezpečnosti [-]
$R_1$ – minimální velikost poloměru obrobku [mm]	$\Delta S$ – odchylka polohy [mm]
$R_2$ – maximální velikost poloměru obrobku [mm]	$\Delta S_{\zeta}$ - maximální odchylka polohy čelisti úchopného zařízení způsobená výrobními tolerancemi [mm]
$S_1$ – upínací přesah [mm]	$\Delta S_M$ - maximální odchylka polohy manipulátoru [mm]
$S_2$ – vkládací vůle [mm]	$\Delta S_{OM}$ – maximální odchylka polohy OM [mm]
$\alpha_1$ – poloviční úhel tvarového vybrání v prstech [°]	
$\Delta S$ – odchylka polohy [mm]	
Dosazení	Dosazení
$H_{\min} = \frac{0,5 \cdot 0,4330 + 0,5 + 18 - 18}{\sin 60} + 0,5$	$\Delta S = 2,5 \cdot \sqrt{0,1^2 + 0,1^2 + 0,1^2}$
Potřebný minimální zdvih jedné čelisti	Odchylka polohy
$H_{\min} = 1,3273 \text{ [mm]}$	$\Delta S = 0,4330 \text{ [mm]}$

Zdvih čelisti vybrané hlavice je vyšší než minimální potřebný zdvih určený výpočtem. Chapadlo DHPS-10-A-NC tedy vyhovuje.

Následně na základě potřebné uchopovací síly bylo zvoleno chapadlo DHDS-16-A-NC. Označení 16 určuje velikost hlavice, která je o třídu větší než u varianty č. 1. Verze

AS umožňuje zajištění minimální úchopné síly i v případě poklesu tlaku. Efektor se vyznačuje při své hmotnosti 99 [g] uzavírací silou 27,5 [N] a zdvihem 2,5 [mm] na jednu čelist. Cena efektoru je 20 075 Kč včetně DPH. [15]



Obr. 8.9. Konstrukce chapadla DHDS-16-A-NC [15]

Popis: 1 – čelist, 2 – záslepka, 3 – převodní páka, 4 – těleso, 5 – píst.

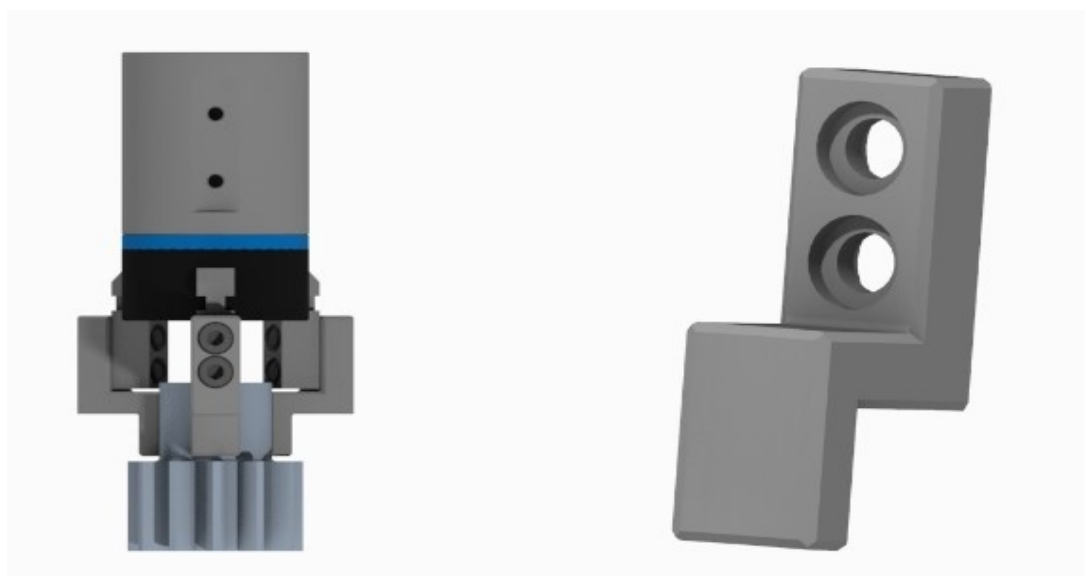
Tab. 8.15. Technické parametry efektoru DHDS-16-A-NC [15]

Technické údaje efektoru	Hodnota / Údaj	Jednotka
Zdvih na jednu čelist	2,5	[mm]
Zavírací síla	27,5	[N]
Hmotnost	0,099	[kg]
Jmenovitý provozní tlak	8	[bar]
Doba otevření čelistí	0,032	[s]
Doba sevření čelistí	0,029	[s]
Maximální délka prstu	20	[mm]
Maximální hmotnost prstu	0,05	[kg]
Minimální teplota okolí	5	[°C]
Maximální teplota okolí	60	[°C]
Opakovatelná přesnost	0,04	[mm]
Maximální rozměry (ød x v)	ø30 x 47,9	[mm]



### 8.5.1 Návrh prstů pro DHDS-16-A-NC

Prsty jsou z hliníkového materiálu AlMgSi0,7. Polotovár bude zakoupen od společnosti Feropol a následně s využitím frézy upraven do požadované podoby. Vyrobené prsty disponují délkou 15 [mm] a hmotností 0,003 [kg]. Uchopovací plochy jsou řešeny cylindricky tak, aby ideálně objaly náboj ozubeného kola. Průměr cylindru je 18 [mm]. Ustanovení do ideální polohy je zajištěno pomocí 2 středících dutinek ZBH-7. Připevnění k čelisti je dosaženo pomocí šroubů DIN 912 M2,5. Jelikož se velikost úchopné síly mění v závislosti na délce prstu, nebo-li velikosti ramene páky, byla provedena kontrola dle katalogu. Dle katalogu se hodnota uchopovací síly, kterou je efektor schopen vyvinout při délce prstu 25 [mm] a při provozním tlaku 6 [bar], rovná velikosti úchopné síly 21 [N], takže toto řešení je realizovatelné. Vizuální podoba čelistí viz Obr. 8.10. [15], [32]



Obr. 8.10. Ukázka uchopení OM pomocí efektoru DHDS-16-A-NC s navrhnutými cylindrickými čelistmi vlevo a detail prstu pro paralelní efektor DHDS-16-A-NC vpravo [15]

## 8.6 Varianta č. 6

Tato varianta znovu využívá, stejně jako varianta č. 3, vnitřního povrchu ozubeného kola. Pro tuto vyriatu byl rovněž proveden výpočet úchopné síly viz Tab. 8.16.

Tab. 8.16. Velikost úchopné síly pro návrh varianty č. 6 [4]

Potřebná minimální úchopná síla
$F_u = 35,2045 \text{ [N]}$

Na základě potřebné uchopovací síly 35,2 [N] bylo zvoleno chapadlo DHPS-10-A-NO s velikostí zdvihu 3 [mm] na jednu čelist. Poté byla provedena kontrola požadovaného zdvihu (Tab. 8.17). [15]

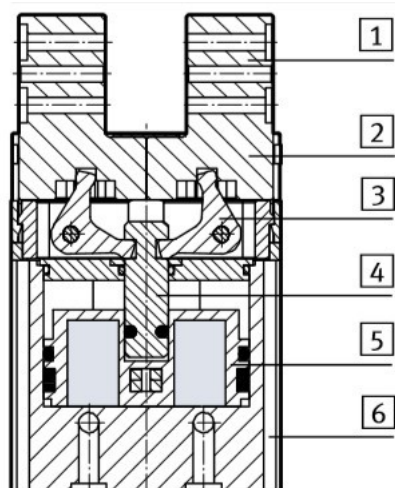
Tab. 8.17. Výpočet minimálního zdvihu čelistí pro návrh varianty č. 6 [4]

Vzorec	Vzorec
$H_{\min} = \frac{0,5 \cdot \Delta S + S_2 + R_2 - R_1}{\sin \frac{\alpha_1}{2}} + S_1$	$\Delta S = S \cdot \sqrt{\Delta S_{OM}^2 + \Delta S_M^2 + \Delta S_{\zeta}^2}$
Kde:	Kde:
$H_{\min}$ - minimální zdvih čelisti [mm]	$S$ – koeficient bezpečnosti [-]
$R_1$ – minimální velikost poloměru obrobku [mm]	$\Delta S$ – odchylka polohy [mm]
$R_2$ – maximální velikost poloměru obrobku [mm]	$\Delta S_{\zeta}$ - maximální odchylka polohy čelisti úchopného zařízení způsobená výrobními tolerancemi [mm]
$S_1$ – upínací přesah [mm]	$\Delta S_M$ - maximální odchylka polohy manipulátoru [mm]
$S_2$ – vkládací vůle [mm]	$\Delta S_{OM}$ – maximální odchylka polohy OM [mm]
$\alpha_1$ – poloviční úhel tvarového vybrání v prstech [°]	
$\Delta S$ – odchylka polohy [mm]	
Dosazení	Dosazení
$H_{\min} = \frac{0,5 \cdot 0,4330 + 0,5 + 10 - 10}{\sin 90} + 0,5$	$\Delta S = 2,5 \cdot \sqrt{0,1^2 + 0,1^2 + 0,1^2}$
Potřebný minimální zdvih jedné čelisti	Odchylka polohy
$H_{\min} = 1,2165$ [mm]	$\Delta S = 0,4330$ [mm]

Zdvih čelisti vybrané hlavičky je vyšší než minimální potřebný zdvih určený výpočtem. Chapadlo DHPS-10-A-NC tedy vyhovuje.

Skupinu DHPS byla využita již při výběru čtvrté varianty, v této variantě bylo dokonce zvoleno chapadlo stejné velikosti, avšak s využitím provozního tlaku 8 [bar]. Efektor se řadí do velikostní třídy 10. Dalším rozdílem oproti předchozím řešením je uzpůsobení chapadla pro uchopení součásti pomocí otevírací síly stejně tak, jako u varianty č. 3. Označení NO značí, že chapadlo umožňuje udržování minimální úchopné síly i v případě poklesu tlaku a verze A umožňuje snímání poloh. Toto chapadlo stejně jako

předchozí varianty využívá pneumatického pohonu. Synchronizovaný pohyb čelistí je stejně jako u předchozích variant umožněn využitím pístu a klínového háku. Efektor se vyznačuje při své hmotnosti 68 g otevírací silou 55 N a zdvihem 3 mm na jednu čelist. . Cena efektoru je 12 498 Kč včetně DPH. [15]



Obr. 8.11. Konstrukce chapadla DHPS-10-A-NO [15]

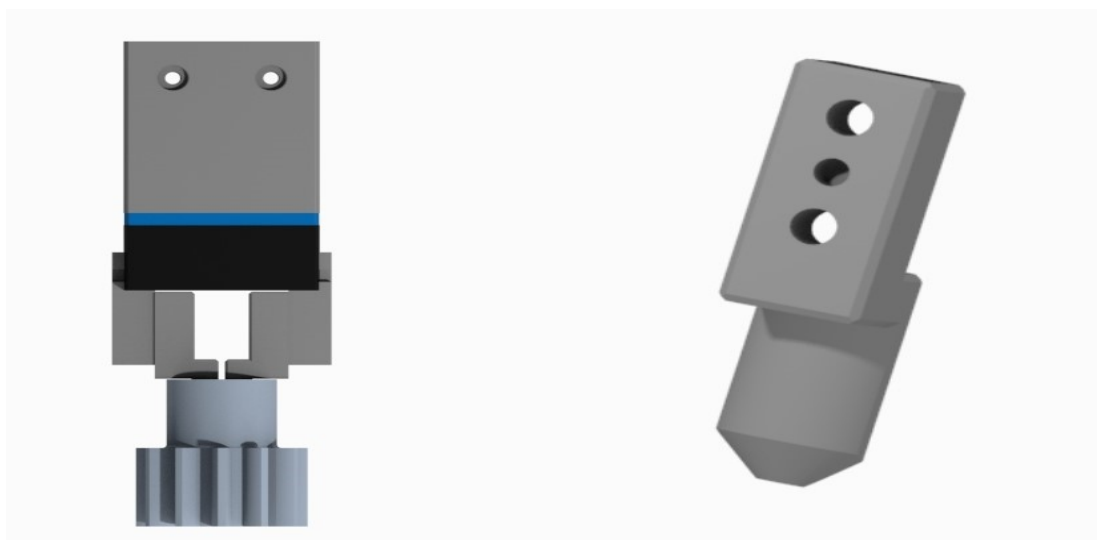
Popis: 1 – čelist, 2 – záslepka, 3 – převodní páka, 4 – pístnice, 5 – píst, 6 – těleso.

Tab. 8.18. Technické parametry efektoru DHPS-10-A-NO [15]

Technické údaje efektoru	Hodnota / Údaj	Jednotka
Zdvih na jednu čelist	3	[mm]
Otevírací síla	55	[N]
Hmotnost	0,068	[kg]
Jmenovitý provozní tlak	8	[bar]
Doba otevření čelistí	0,053	[s]
Doba sevření čelistí	0,033	[s]
Maximální délka prstu	32	[mm]
Maximální hmotnost prstu	0,06	[kg]
Minimální teplota okolí	5	[°C]
Maximální teplota okolí	60	[°C]
Opakovatelná přesnost	0,02	[mm]
Maximální rozměry (a x b x c)	32 x 15,5 x 66	[mm]

### 8.6.1 Návrh prstů pro DHPS-10-A-NO

Prsty jsou z hliníkového materiálu AIMgSi0,7. Polotovar bude zakoupen od společnosti Feropol a následně s využitím frézy upraven do požadované podoby. Výsledný prst má délku 30 [mm], hmotnost 0,003 [kg]. Průměr cylindru je 9 [mm]. Ustanovení do ideální polohy je zajištěno pomocí středícího kolíku o průměru  $\varnothing 2$  [mm]. Připevnění k čelisti je dosaženo pomocí šroubů DIN 912 M2,5. Dle katalogu výrobce se hodnota uchopovací síly, kterou je efektor schopen vyvinout při délce prstu 25 [mm] a provozním tlaku 8 [barů], rovná hodnotě 41 [N], takže toto řešení je využitelné. Vizuální podoba čelistí viz Obr. 8.12. [15], [32]



Obr. 8.12. Ukázka uchopení OM pomocí efektoru DHPS-10-A-NO s navrhnutými cylindrickými čelisti vlevo a detail prstu pro paralelní efektor DHPS-10-A-NO vpravo [15]

## 9. Výběr vhodného efektoru

Z uvedených šesti možností byl proveden výběr vhodného efektoru. Ideální varianta byla zvolena pomocí vícekritériální analýzy.

### 9.1 Porovnávání kritéria

Při výběru vhodné koncové hlavice byly porovnány varianty 1-6 dle kritérií vytvořených na základě požadavkového listu. Detailně byla kritéria rozebrána viz Tab. 9.1.

Tab. 9.1. Porovnávání kritéria

Označení kritéria	Kritérium
K1	hmotnost efektoru
K2	rozměrnost konstrukce
K3	rychlost sevření a otevření čelistí
K4	opakovatelná přesnost čelistí
K5	velikost zdvihu čelistí
K6	cena efektoru

### 9.2 Hodnocení kritérií

Následně bylo vytvořeno hodnocení jednotlivých variant (Tab. 9.2). Přičemž čím vyšší číslo hodnocení, tím vyšší úroveň a vhodnější použití daného efektoru pro danou aplikaci.

Tab. 9.2. Hodnocení kritérií

Hodnocení	Úroveň
5	výborná
4	nadprůměrná
3	průměrná
2	podprůměrná
1	velmi slabá

### 9.3 Metoda trojúhelníkových párů

Zvolení důležitosti vybraných kritérií bylo vyhodnoceno podle metody trojúhelníkových párů. Nejdříve byla vybraná kritéria K1-K6 porovnána vzájemně. Z tohoto porovnání vyplynulo, které kritérium je důležitější, případně rovnocenně důležité (Tab. 9.3). Pokud bylo kritérium důležitější než kritérium, se kterým bylo porovnáváno, dostalo jeden bod, pokud byla kritéria rovnocenně důležitá, dostala obě po půl bodu. Následně se sečetla bodová ohodnocení a určila velikost významnosti dle následujícího vztahu.

$$v = 0,2 \cdot p + 0,8$$

Kde:

$v$  – váha významnosti [-]

$p$  – počet voleb [-]

Tab. 9.3. Metoda trojúhelníkových párů

					Počet voleb	Stupnice	Významnost
K1	K1	K1	K1	K1	4,5	1-2	1,7
K2	K3	K4	K5	K6			
	K2	K2	K2	K2	4,5	1-2	1,7
	K3	K4	K5	K6			
		K3	K3	K3	3	3	1,4
		K4	K5	K6			
			K4	K4	1,5	4	1,1
			K5	K6			
				K5	1	5	1
				K6			
					0,5	6	0,9

## 9.4 Porovnání variant

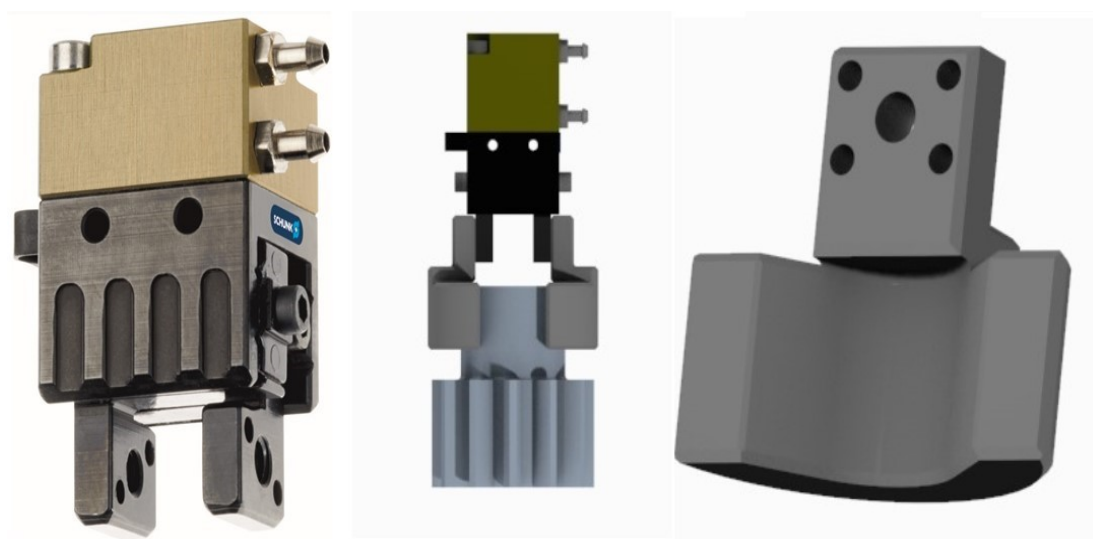
Po definování požadovaných kritérií a určení významnosti těchto kritérií bylo provedeno srovnání variant 1-6 (Tab. 9.4).

Tab. 9.4. Porovnání variant 1-6

Označení kritéria	Významnost	Hodnocení variant efektorů					
		Var. 1	Var. 2	Var. 3	Var. 4	Var. 5	Var. 6
K1	1,7	5	4	3	3	2	3
K2	1,7	5	4	3	2	1	2
K3	1,4	5	3	2	2	1	1
K4	1,1	4	5	4	4	3	4
K5	1	3	3	5	5	4	5
K6	0,9	5	2	4	3	1	3
Celkem s významností:		35,9	28,1	26	23,4	14,62	22

## 9.5 Vybraná varianta

Z provedené vícekritériální analýzy vyplynula nejvhodnější varianta č.1, tedy efektor MPG-plus 16-AS (Obr. 9.1. Zvolený efektor MPG-plus 16-AS ). Tato varianta má hlavní přednosti vůči ostatním porovnávaným variantám, jako například nejmenší rozměry, nejmenší hmotnost, nejvyšší rychlost otevření a sevření čelistí a nejnižší pořizovací cenu. Parametry MPG-plus 16-AS viz Tab. 9.5. [14]



Obr. 9.1. Zvolený efektor MPG-plus 16-AS [14]

Tab. 9.5. Technické parametry efektoru MPG plus 16-AS [14]

Požadavek	Hodnota / Údaj	Jednotka
Zdvih na jednu čelist	1,5	[mm]
Zavírací síla	39	[N]
Hmotnost	0,025	[kg]
Provozní tlak	6	[bar]
Doba otevření čelistí	0,011	[s]
Doba sevření čelistí	0,015	[s]
Maximální délka prstu	20	[mm]
Maximální hmotnost prstu	0,01	[kg]
Minimální teplota okolí	5	[°C]
Maximální teplota okolí	90	[°C]
Opakovatelná přesnost	0,02	[mm]
Rozměry efektoru (a x b x c)	16 x 13 x 27	[mm]



## 10 Závěr

Na začátku bakalářské práce byla podrobně zpracována rešerše, která se zabývá komplexní problematikou efektorů, od jejich definování, přes rozdělení jednotlivých typů efektorů podle vykonávané činnosti, rozdělení manipulačních efektorů, rozdělení efektorů podle používaného pohonu, rozdělení efektorů podle trajektorie pohybů čelistí až po definování procesu uchopení pomocí čelistových efektorů a následné rozdělení způsobů uchopení součástí.

V průběhu bakalářské práce byla zvolena manipulační úloha, dále ozubené kolo jako objekt manipulace. Na základě těchto okolností byl vyhotoven požadavkový list na výsledný efektor a byly vypracovány možné varianty řešení, které byly zvoleny z katalogů společností SCHUNK a FESTO. Byly provedeny potřebné výpočty tak, aby byla zaručena použitelnost jednotlivých variant. Každá varianta obsahuje vlastní návrh prstů. Tyto výrobní výkresy prstů byly uvedeny do příloh bakalářské práce spolu s živými výkresy a CAD modely jednotlivých prstů.

Vhodná varianta byla určena s využitím vícekritériální analýzy. Ideální varianta MPG plus 16-AS je od firmy SCHUNK a mezi její hlavní výhody patří především nízká cena, vysoká rychlost otevření a sevření čelistí, malé rozměry a malá hmotnost.

## Seznam použité literatury

- [1] SKAŘUPA, Jiří. Průmyslové roboty a manipulátory [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 1 CD-R [cit. 2020-02-17]. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [2] SKAŘUPA, Jiří. Hlavice průmyslových robotů. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1993 [cit. 2020-02-17]. ISBN 80-7078-210-2.
- [3] FANUC [online]. 2015 [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs>
- [4] MONKMAN, Gareth J. Robot grippers. Weinheim: Wiley-VCH, c2007, x, 452 p. ISBN 978-352-7406-197.
- [5] WOLF, Andreas; STEINMANN, Ralf; SCHUNK, Henrik. Grippers in Motion. 1. vyd. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 2005, 248 s. ISBN 3-540-25657-1
- [6] MALONEY, Timothy J. Electrónica industrial moderna. 5. vyd. Mexiko, 2006, 1000 s. ISBN 970-26-0669-1
- [7] BERNIER, Catherine. Magnetic Robot End Effector: Top 5 Pros and Cons. ROBOTIQ [online]. 2018, 5.5.2016 [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/bid/65794/Magnetic-Robot-End-Effector-Top-5-Pros-and-Cons>
- [8] ControlTech s. r. o. [online]. 2020 [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: <https://controltech.cz/cz/>
- [9] BLECHA, P., KOLÍBAL, Z., KNOFLÍČEK, R., POCHYLÝ, A., KUBELA, T., BLECHA, R., BŘEZINA, T. Mechatronika, Modul 10: Robotika [online]. 2008, [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/8054951-Mechatronika-modul-10-robotika.html>
- [10] Fantoni, G., Gabelloni, D., Tilli, J., Concept desing of new grippers using abstracting and analogy, Part B, Journal of engineering manufacture, Pisa, University of Pisa, 2013, s. 116. [cit. 2020-03-21]
- [11] RUMÍŠEK, P. Automatizace: roboty a manipulátory[online]. Brno: 2003 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/emm\\_mechanizace\\_a\\_automatizace\\_roboty\\_rumisek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/emm_mechanizace_a_automatizace_roboty_rumisek.pdf)
- [12] Understanding Robotic Ultrasonic Cutting in Industrial Applications. ROBOTICS ONLINE [online]. 4.4.2017 [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <https://www.robotics.org/blog-article.cfm/Understanding-Robotic-Ultrasonic-Cutting-in-Industrial-Applications/35>
- [13] ZIMMER GROUP [online]. 2020 [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <https://www.zimmer-group.de/en>

- 
- [14] SCHUNK [online]. 2020 [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: [https://schunk.com/de\\_en/homepage/](https://schunk.com/de_en/homepage/)
- [15] FESTO [online]. 2010 [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cms/cs\\_cz/index.htm](https://www.festo.com/cms/cs_cz/index.htm)
- [16] EXACTEC [online]. Liberec, 2018 [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: <https://www.exactec.com/index.php/komponenty/9-detail/77-destaco1>
- [17] ZACKS INVESTMENT RESEARCH: Titan Medical: Revolutionizing Minimally Invasive Surgery with Robotics! [online]. 22.7.2019 [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <https://1url.cz/yzwey>
- [18] ETS (EDGE TACTICAL SOLUTIONS) [online]. 2017 [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: <http://edgetacticalsolutions.com/>
- [19] KUKA Robotics [online]. 2020 [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz>
- [20] SCHMALZ [online]. 2020 [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <https://www.schmalz.com/en/>
- [21] On Robot [online]. 2020 [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <https://onrobot.com/cs>
- [22] PARKER [online]. 2020 [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <https://1url.cz/zzwWM>
- [23] AMETEK [online]. 2020 [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <https://www.ametektest.com/>
- [24] ROBOTIQ [online]. 2020 [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <https://robotiq.com/>
- [25] Modular Assembly Automation / System GEMOTEC: SCHUNKinc. In: Youtube.com [online]. 2012 [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=JXQswvsIDQI&feature=emb\\_rel\\_pause](https://www.youtube.com/watch?v=JXQswvsIDQI&feature=emb_rel_pause)
- [26] T.E.A. TECHNIK s.r.o. [online]. 2020 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://www.teatechnik.cz/cad-soubory/>
- [27] Electronics Tutorial about DC Motors. [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: [http://www.electronics-tutorials.ws/io/io\\_7.html](http://www.electronics-tutorials.ws/io/io_7.html)
- [28] HOTAŘ, Vlastimil. Automatizace a robotizace ve strojírenství: Efektory a periferní zařízení robotů. Liberec, 2019. Zvýšení kvality vzdělávání na TUL a jeho relevance pro potřeby trhu práce. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Fakulta strojní. Dostupné z: <http://www.ksr.tul.cz/ksr/podklady/ARS-6.Efektory-3.pdf?fbclid=IwAR2QPpo5nGNNKqQVVOBqf7MMqCwDlbdlnKsq2ZXxeszCPQl2E8dRSaU5-y8>
- [29] Spolehlivost jednotlivých zařízení není totéž co spolehlivost systému. ŘÍZENÍ A ÚDRŽBA PRŮMYSLOVÉHO PODNIKU [online]. 2017, 6.2.2017 [cit. 2020-04-12]. Dostupné z: [udrbapodniku.cz/hlavni-](http://udrbapodniku.cz/hlavni-)
-

---

menu/artikuly/artikul/article/spolehlivost-jednotlivych-zarizeni-neni-totez-co-spolehlivost-systemu/

- [30] T.E.A. TECHNIK s.r.o.: Čelní ozubená kola nerezová, s přímým ozubením, úhel záběru 20°, modul 2 [online]. 2020 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.teatechnik.cz/cad-soubory/>
- [31] Uhlíková ocel k zušlechťování 12 050. OBRÁBĚNÍ-KOVOVÝROBA [online]. [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <http://media0.obrabenikovo.cz/files/media0:571926fc1f8f5.pdf.upl/12050.pdf>
- [32] Tyče kruhové. *Feropol s.r.o* [online]. 2012 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <http://www.feropol.cz/cz/product/slitiny-hliniku-tyce-kruhove/6/3/>

## Seznam příloh

Příloha A: KOZ0261\_01 (PDF) - výrobní výkres

Příloha B: KOZ0261\_02 (PDF) - výrobní výkres

Příloha C: KOZ0261\_03 (PDF) - výrobní výkres

Příloha D: KOZ0261\_04 (PDF) - výrobní výkres

Příloha E: KOZ0261\_05 (PDF) - výrobní výkres

Příloha F: KOZ0261\_06 (PDF) - výrobní výkres

Příloha G: varianta\_1\_prst\_vyrobní\_vykres (Creo Drawing File)

Příloha H: varianta\_2\_prst\_vyrobní\_vykres (Creo Drawing File)

Příloha I: varianta\_3\_prst\_vyrobní\_vykres (Creo Drawing File)

Příloha J: varianta\_4\_prst\_vyrobní\_vykres (Creo Drawing File)

Příloha K: varianta\_5\_prst\_vyrobní\_vykres (Creo Drawing File)

Příloha L: varianta\_6\_prst\_vyrobní\_vykres (Creo Drawing File)

Příloha M: varianta\_1\_prst (Creo Part File)

Příloha N: varianta\_2\_prst (Creo Part File)

Příloha O: varianta\_3\_prst (Creo Part File)

Příloha P: varianta\_4\_prst (Creo Part File)

Příloha Q: varianta\_5\_prst (Creo Part File)

Příloha R: varianta\_6\_prst (Creo Part File)